



Tien päälystekerrosten rakentaminen vaiheittain

Selvitys vuoden 1985 ajoitusohjeen muuttamistarpeesta

Vauriot ?

Urien korjaus ?

Laatu ?

Kustannukset ?

	AB
	AB
	BS

v. 1997 ?

v. 1991 ?

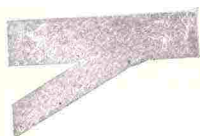
v. 1990 ?



**Tielaitos
Tiehallitus
Kehittämiskeskus**

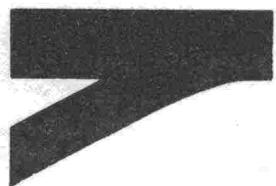
Helsinki 1990
TIEL 703617

08 TIEH



Tielaitos
Tiehallituksen kirjasto

Doknro: 910 262
Nidenro: 910 264



Tien päälystekerrosten rakentaminen vaiheittain

Selvitys vuoden 1985 ajoitusohjeen muuttamistarpeesta

**Tielaitos
Tiehallitus
Kehittämiskeskus**

**Helsinki 1990
TIEL 703617**

ISBN 951-47-4072-6
Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1990

Sisältö:

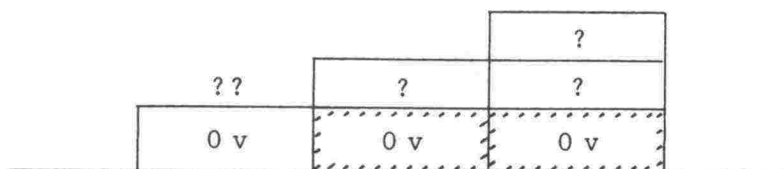
TIEN PÄÄLLYSTEKERROSTEN RAKENTAMINEN VAIHEITTAIN

Selvitys v:n 1985 ajoitusohjeiden muuttamistarpeesta

	Sivu
TIIVISTELMÄ	1-2
ALKUSANAT	3
1 JOHDANTO	5
1.1 Mitä päällysteiden vaiherakentaminen on	5
1.2 Vaiherakentamisen tavoitteet ja onnistuminen	5
1.3 Vaiherakentamisen kehitys Suomessa	7
2 VAIHERAKENTAMISEEN LIITTYVÄ TUTKIMUSTARVE	10
2.1 Kysymyksen ajankohtaisuus	10
2.2 Tutkimus vaiherakentamisesta	10
2.3 Tämän raportin tutkimusaineisto	11
3 KUINKA VAIHEITTAIN RAKENNETUT TIET OVAT KÄYTTÄYTYNEET	13
3.1 Syksyn 1989 silmävaraisaineisto	13
3.2 Hämeen piirin vaurioaineisto	18
3.3 VTT:n vauriomittauksia eri osissa maata	20
3.4 Esimerkkitapauksia	21
Hidas vaiherakentaminen - Alimitoitettu päällyste - Vähäliikenteisen tien nopea vaiherakentaminen	
3.5 Yhteenvedo vaiherakentamisen havaintoaineistosta	26
4 VAIHEITTAIN RAKENTAMISEN KANNATTAVUUDEN EDELLYTYKSET	28
4.1 Kantavuuden lisäämisen teoriaa	28
4.2 Funktion $E_{tarp} = f(KKL)$ tarkastelua	30
4.3 Päällysteinsinöörien mielipiteitä vaiherakentamisesta	32
4.4 Liikennekustannusten vertailua eri tienpitostrategioilla .	34
Nopea ja hidas ajoitus rakenneluokassa 2 AB - Nopea ja hidas ajoitus rakenneluokassa 3 AB	
5 PÄÄLLYSTEIDEN VAIHERAKENTAMINEN ULKOMAILLA	39
Ruotsi - Norja - Länsi-Saksa - Englanti - USA - Muut maat	
6 VAIHERAKENTAMISEN ERILLISKYSYMYKSIÄ	43
6.1 Bitumisoran kantavuuden säilyminen kulutuskerroksena	43
6.2 Epätavallisten rakennetyyppien merkitys päällysteen vaihe- rakentamiselle	46
Imeytyssepellys - Bitumistabiloinnit - Maabetoni - Louhe- rakenne - Paksu routamitoitettu rakenne	
6.3 Akselipainojen korotuksen vaikutus vaiherakentamiseen	48
6.4 Vaiherakentaminen ja PMS	51
7 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	53
7.1 Vaiherakentamisen päälinjoja	53
7.2 Toimenpide-ehdotukset	54
7.3 Ehdotuksen kustannukset ja kannattavuus	56
7.4 Avoimiksi jääneitä vaiherakentamisen osakysymyksiä	60
VIITEKIRJALLISUUTTA	61-63

TIEN PÄÄLLYTEKERROSTEN RAKENTAMINEN VAIHEITTAIN

Selvitys v:n 1985 ajoitusohjeiden muuttamistarpeesta



TIIVISTELMÄ

Useampikerroksiseksi suunniteltujen päällysteiden rakentaminen monessa vaiheessa tehostaa alkuvuosina tien epätasaisuuksien ja kulumisurien korjaamista. Samalla vaiherakentaminen tuottaa toimenpide- ja korkosäästöjä. Toisaalta on ruvettu epäilemään etenkin raskaasti liikennöityjen teiden kestävyyttä: kuluvatko ja vaurioituvatko alemmat päällystekerrokset välivaiheissa niin haitallisesti, että ne eivät täytä kunnolla tehtäväänsä tien valmistuttua?

Nykyinen käytäntö Suomessa vastaa likimain TVL:n v:n 1985 suunnitteluohjeiden ajoituskaaviota (liitteenä 1) tai on sitä hiukan hitaampi. Tässä muistiossa tarkastellaan mahdollisimman monelta kannalta, olisiko nykyisiä ajoitusohjeita ja käytäntöä nopeutettava ja mitä muita päätelmiä vaiherakentamiskokemuksista voidaan tehdä.

Varsinaisia vaiherakentamisen kohteita ei ole olemassa. Niiden sijasta tehtiin syksyllä 1989 vaurioinventointi 30 tiellä, tarkoituksena arvioida, kuinka kauan 1- ja 2-kerroksisia AB-päällysteitä voidaan liikennöidä ilman vaiherakentamisen kannalta liiallista vaurioitumisriskiä. Hajonta on suuri, mutta tulokset puoltavat silti nykyisten ohjeajoitusten nopeuttamista eräin osin.

Muuta havaintoaineistoa saadaan eräiltä aikaisempina vuosina inventoiduilta tieosilta sekä pitemmiltä esimerkkiteiltä. Niissä nähdään sekä liian hidasta että liian nopeata (epätaloudellista) vaiherakentamista. Lisäksi on tehty vertailulaskelmia erilaisten ajoitusten vaikutuksesta liikennekustannuksiin, päällysteen laatu ja liikennehankaluudet huomioon ottaen. Tulokset osoittavat vaiherakentamisperiaatteen edullisuuden, kunhan rakenteen kestävyyttä ei missään vaiheessa vaaranneta.

Mikään teoreettinen tai tekninen seikka ei olennaisesti rajoita pyrkimystä nykytyyppiseen vaiherakentamiseen. Tähän saadaan viitteitä eräistä kantavuusteoreettisista tarkasteluista sekä erilliskysymyksistä, jotka koskevat bitumisoran käyttöä kulutuskerroksena, epätavallisia rakennetyyppejä (imeytyssepellys, maabetoni, louherakenne ym.) ja akselipainojen 1.1.1990 toteutunutta korotusta.

Toimenpide-ehdotukset esitetään muistion sivuilla 54-56. Mukana on uusi ajoituskaavio, jossa on enemmän liikkumavaraa kuin v:n 1985 ohjeessa ja joka kaikkiaan on hiukan nopeampi kuin 1985. Siinä on otettu huomioon muistio Suunnitelmissa käytettävä murskeen E-moduli (TVH/Skk, Tg, 16.5.1989), jonka mukaan alustan tavoitekantavuuksia on pienennetty ja päällystekerrosten paksuutta osittain suurennettu.

Ehdotetut päämuutokset ovat seuraavat:

1. Rakenneluokassa 1 AB tehdään III päällystekerros jo 2-3 vuoden kuluttua (nyt 4-5 v).
2. Rakenneluokassa 1 AB tehdään IV päällystekerros jo 6-9 vuoden kuluttua (nyt 9-12 v).
3. Rakenneluokassa 2 AB tehdään III päällystekerros jo 5-8 vuoden kuluttua (nyt 7-11 v).
4. Rakenneluokassa 3 AB tehdään II päällystekerros jo 4-7 vuoden kuluttua (nyt 6-8 v). Rakenneluokkaa 3 AB ei enää jaeta liikennemäärän mukaan kahteen puoliskoon.
5. Rakenneluokkaan 4 AB tulee jo mitoituksessa huomioon otettava II päällystekerros (6-10 v:n kuluttua).
6. Kaavion yhteydessä tulisi antaa ohjeet, milloin ajoitusvuosista voidaan poiketa nopeampaan tai hitaampaan suuntaan. Poikkeama hitaampaan suuntaan on näistä todennäköisempi. Luonnos ohjeiksi esitetään s. 56.
7. Ohjeissa tulisi varoittaa ennenaikaisen päällystämisen epätaloudellisuudesta. Ohjetta nopeampaan ajoitukseen on oltava nimenomainen syy ja menettelyn edullisuus on voitava osoittaa vertailulaskelmin.
8. Ohjeissa tulisi varoittaa tasausmassan epästabiiliudesta ja kehottaa vähentämään tasausmassan käyttöä jyrstöjen hyväksi.

Ehdotuksen bruttokustannukset ovat n. 11,6 milj. mk/v. Säästöt ennenaikaisten vaurioiden välttymisestä ovat arviolta 1,2 milj. mk/v ja turhan aikaisen päällystämisen välttämisestä 3,0 milj. mk/v. Nettokustannuksilla, n. 7,4 milj. mk/v (5-10 milj. mk/v) saadaan vaurioitumisriskit kauttaaltaan pienemmiksi ja vaiherakennettujen teiden ajettavuus keskimäärin jonkin verran paremmaksi.

ALKUSANAT

Pääallysteiden vaiherakentamista koskeva pohdinta on tullut ajan-kohtaiseksi tiestön kantavuustarkastelujen yhteydessä - onko ajoituksen venyttäminen monen vuoden ylitse epäedullisempaa kuin on aikaisemmin arvioitu? Nykyiset ajoitusohjeet ovat vuodelta 1985 ja tämän selvityksen tarkoituksena on luoda taustaa, kerätä havainto-aineistoa ja tehdä ehdotus v:n 1985 ohjeiden mahdollista muuttamista varten.

Työ on suoritettu tie- ja vesirakennushallituksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta syksyllä 1989 ja kuluvan vuoden alussa (tilauskirjeenä Skk-170/19.7.1989). Yhdyshenkilönä on ollut dipl. ins. Kari Lehtonen. Kiitän häntä ja hänen lisäksi lukuisia muita huomispäivänä nimeään vaihtavan tielaitoksen edustajia auliista avusta kokemustensa esiintuomisessa sekä asiakirjojen ja muiden tietojen hankinnassa. Heitä ovat muistion sivulla 32 lueteltujen haastateltujen lisäksi ainakin seuraavat henkilöt:

- apul.johtaja Tauno Hailikari
- rak. mest. Sirkka Lahtinen (TVL-H)
- erikoistutkija Riitta Olsonen
- tarkastaja Reijo Orama
- rak. mest. Erja Ovaskainen (TVL-U)
- dipl. ins. Teuvo Puttonen (TVL-U)
- erikoistutkija Maritta Solla.

Nurmijärvellä 28.2.1990

Eero Lehtipuu

1 JOHDANTO

1.1 Mitä päällysteiden vaiherakentaminen on

Vaiherakentamisella tarkoitetaan 2- tai useampikerroksisen päällysteen rakentamista eri vuosina. Raskaimmin liikennöidyillä teillä voi kaikkien kerrosten rakentaminen valmiiksi viedä TVH:n nykyohjeen mukaan (liite 1) jopa 9-12 vuotta, joskin tavallinen väliaika peräkkäisille kerroksille on 1-6 vuotta.

Vaiherakentaminen eroaa kunnossapidon vaatimasta uudelleenpäällystämisestä siinä että vaiherakentamisen kerrokset sisältyvät jo tien kantavuusmitoitukseen ja niiden toteutus on periaatteessa riippumaton päällysteen kunnosta. Käytännössä on myös edellisen kerroksen alkava vaurioituminen voinut kiirehtiä seuraavaa kerrosta, jos väliaika on useita vuosia.

Yllä kuvattu vaiherakentaminen eroaa luonnollisesti täysin siitä tilanteesta, jolloin lopullinen leveys toteutetaan vaiheittain, kuten moottoritie ensin moottoriliikennetienä tai muu maantie ensin ilman leveitä pientareita tai kevytväylää. Näissä tulee myöhemmän vaiheen tuoma lisäkapasiteetti kannattavaksi vasta kun liikennemäärä on noussut olennaisesti. Päällysteen vaiherakentaminen on monitahoisempi seikka, sillä siinä on harkittava erilaisia ajoitusvaihtoehtoja silloinkin kun liikennemäärä (KVL) pysyy likimain ennallaan.

Kehitysmaissa on tavallista suunnitella myös tien rakenne vaiheittain pitkän ajan kuluessa liikenteen kasvun vuoksi, jos nopea kasvu on mahdollinen mutta kuitenkin epävarma. Säästöjä kertyy, kun 20 vuoden mitoitusaajan sijasta ensimmäinen päällyste on mahdollisimman kevyt (sirotepinta tms.) ja vasta liikenteen noustua jopa monikymmenkertaiseksi tie rakennetaan vahvemmaksi. - Suomessa liikenne ei kasva näin jyrkästi ja lopullinen rakenne on otettava huomioon jo routimisen torjunnassa ja kuivatuksessa yms. järjestelyissä.

1.2 Vaiherakentamisen tavoitteet ja onnistuminen

Päällysteiden rakentaminen vaiheittain perustuu Suomessa keskeisimmin ajatukseen, että kun kutakin sidottua kerrosta pidetään jonkin aikaa myös liikennöitävänä kulutuskerroksena, siitä saadaan suurempi hyöty kuin pelkkänä kantavuutta lisäävänä välikerroksena. Seuraavan vaiheen päällystystyö korjaa samalla edelliseen pintaan

syntyneet puutteet ja näin saadaan osa kunnossapitoa tavallaan ilmaiseksi. Tällaisia pintapuutteita ovat seuraavat:

- painumat: joko pohjamaan pehmeydestä syntyneet laakeat notkot tai ylempien kerrosten puutteellisesta tiivistämisestä aiheutuneet jyrkemmät epätasaisuudet; tyyppillinen myös siltapenkeiden kohdalla
- matalat urat (syville urille ei ainakaan ensimmäinen päällystekerros saakaan kulua ennen seuraavaa vaihetta)
- päällysteen virheet, kuten lajittumat tai liika avonaisuus tai pienet halkeamat.

Suomessa vaiherakentamisen päätavoitteena on siten parantaa tien laatua (ajettavuutta). Tienpidon säästöt eli lähinnä käyttökäytön pidentyminen ja pääoman korko ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Jos yhtäpäättä rakennetun tien laatu nousisi selvästi - kuten osittain lienee tapahtunutkin kun esim. pehmeikköjen jälkipainumia tarvitsee pelätä vähemmän kuin vielä 1960- ja 1970-luvuilla - vaiherakentaminen menettää houkuttelevuuttaan ja tulee selvemmin taloudellisen optimoinnin kohteeksi. Kunkin vaiheen kantavuusvaatimukset on pidettävä samalla koko ajan mielessä.

Vaiherakentamisen onnistumisen kriteerit. Vaiherakentamisen so-
piva ajoitus, joka tuottaa sekä laadullisesti että taloudellisesti
edullisen tuloksen, voidaan kuvata seuraavina tyyppitapauksina:

- A. Onnistunut vaiherakentaminen (2-kerroksinen päällyste): I kerros on jonkin verran painunut ja epätasainen sekä hiukan kulunut ennen II kerroksen tekoa, mutta ehjä. Tasausmassaa ei tarvita koko tien ylitse vaan vain epätasaisiin kohtiin. II kerros kiinnittyy hyvin alustaan ja kestää kantavuusvaurioita sekä deformatumista vastaan teorian mukaisesti. II kerrokseen ei epätasaisuuksia enää synny tai ne jäävät ilmeisesti pienemmiksi kuin jos molemmat kerrokset olisi rakennettu heti samana vuonna.
- B. Epäonnistunut vaiherakentaminen (2-kerroksinen päällyste): II kerros tehdään niin monen vuoden kuluttua, että I kerros on jo laajalti halkeillut tai urakulumia on yli puolen paksuuden. Lisäksi voi olla eriasteista epätasaisuutta. Tasausmassa + II kerros poistavat kyllä aluksi epätasaisuuden, mutta runsaan hienon massan vuoksi päällyste on altis deformatumaan. Olennaisin epäonnistuminen on kuitenkin siinä, että I ja II kerros eivät toimi halkeilla kohdissa yhtenäisenä laattana. Tällöin kantavuus jää vajaaksi ja tuleva vauriokehitys onkin nopeampi kuin tällä paksuudella teoriassa pitäisi.

Useampikerroksisessa rakenteessa voidaan tasaus tehdä jyrsimällä, jolloin hienorakeisen tasausmassan aiheuttama deformaatiovaara eliminoiduu.

Käytännön tilanteet ovat erilaisia välimuotoja tyypeistä A ja B. Jos I kerros ei ole mainittavasti epätasainen ennen II kerroksen tekemistä (väliaikana ≥ 1 v), vaiherakentaminen kannattaa yleensä silloinkin, koska ainakin välivuosien korkosäästöt koituvat hankkeen hyväksi.

Vaiherakentamisen tekninen epäonnistuminen voidaan varmasti todeta vasta kun valmis tie on ollut käytössä useita vuosia. Silloin kyetään päättämään, onko vauriokehitys nopeampaa kuin toisella ajoituksella ja mikä on tämän kehityksen merkitys. Taloudellisia tappioita voi syntyä jo välivaiheiden suurina hoito- ja tasauskuluina. Yhtään tämän alan koetietä ei Suomessa ole, joten arviot vaiherakentamisen onnistumisesta ja siihen liittyvistä riskeistä on tehtävä suppeammista ja varhaisemmista vauriotiedoista.

1.3 Vaiherakentamisen kehitys Suomessa

Suomessa TVL on suosinut vaiheittain rakentamista 1960-luvun alusta asti eli heti päällystämisen yleistyttyä. Syynä suosioon oli toisaalta selvästi koettu hyöty tien tasaisuudelle, toisaalta pyrkimys määrärahojen oikeaan kohdentamiseen: tuntui tuhlaukselta tehdä ainakaan samana vuonna millekään tielle enempää kuin yksi sidottu kerros, kun valtaosa tiestöstä oli vielä ilman ensimmäistäkin päällystettään.

V:n 1964 suunnitteluohjeet /1/ kehottavat toteuttamaan 20 v:lle mitoitettun päällysrakenteen (lk:t 1-3) 2-3 vaiheessa. Seuraava vaihe rakennetaan kun siihen astinen kuormituskertaluku on saavuttanut tietyn arvon. Esim. luokassa 2 ajoitus perustuu seuraaviin ohjearvoihin:

<u>Päällystekerros ja sen paksuus</u>	<u>KKL, joka edellyttää vasemmalla mainittua lisäkerrosta</u>
● Kantavan kerroksen yläosa (BS, AB, IS)	-
● Sidekerros (AB = 5 cm)	$8,8 \cdot 10^5$
● Kulutuskerros (AB = 4 cm)	$2,3 \cdot 10^6$

Jälkikäteen laskien olisi tavanomaisen vuoden 1964 rakenteen E-moduli sidotun kantavan kerroksen päältä n. 180 MN/m². Uusimpien, v:n 1985 ohjeiden mukaan tällainen I päällysteen kantavuus sallisi enintään $3 \cdot 10^5$ kpl 10 tonnin akseleita eli vain 1/3:n siitä mitä v:n 1964 ohjeet. Kantavuusvaatimukset ovat siten nousseet tuntuvasti, mikä samalla merkitsee vaiherakentamiseen sisältyvien kantavuusriskien pienentymistä.

Vaiherakentamista suosiva kanta näkyy myös muissa yhteyksissä, kuten E. PERÄLÄN koko tien vaiheittain rakentamista käsittelevässä diplomityössä 1969 /2/. Sama on laita mm. TVH:n päällystysohjelman 1970 /3/ perusteluliitteessä, joka viittaa konsulttitoimisto NEDECOn myönteiseen arvioon TVH:n vaiherakentamiskäytännöstä.

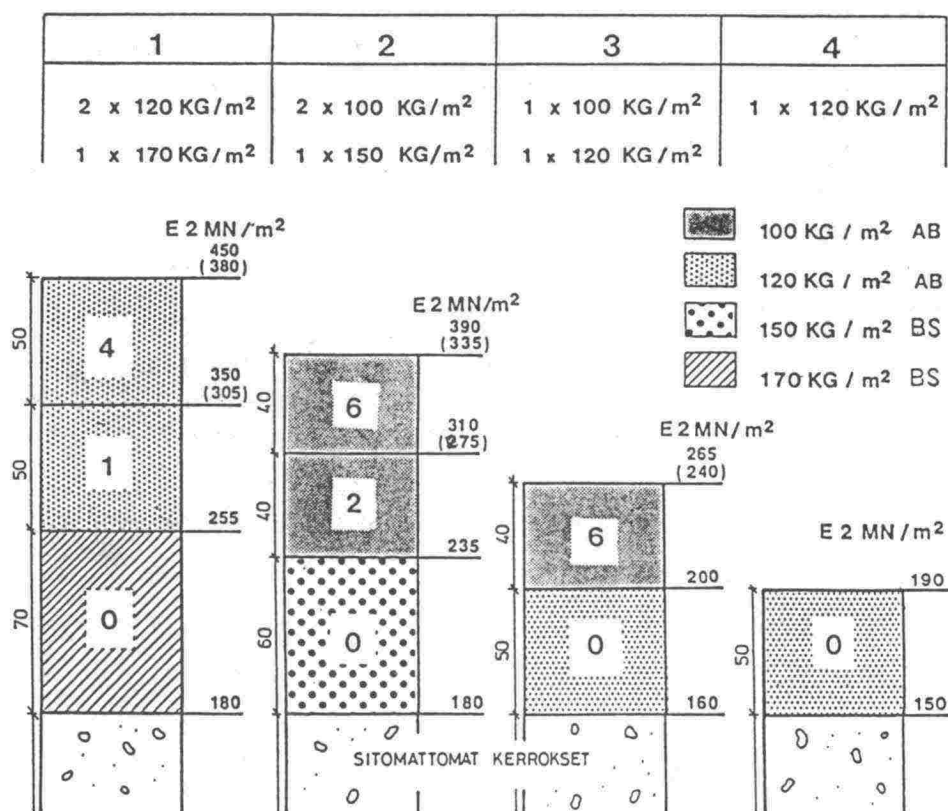
Teiden ylläpidon ohjelmointiin 1970-luvun lopulla laadittu Hämy-menetelmä /4/ perustuu saman kaltaiseen ajatteluun kuin TVL:n ohjeet 1964. Hämy vertaa KKL-summaa tavoitekantavuuteen funktion KKL/E_{tav} avulla ja tavoitekantavuutta tieltä mitattuun todelliseen kantavuuteen. Jos todellisen kantavuuden sallima KKL ei vielä ole saavutettu, tämä määrää tulevan toimenpidevuoden. - Vaikka siis Hämy palvelee kunnossapittoa, sen periaate kantavuuden hyväksikäytöstä ja ehtymisestä on sama kuin TVL:n suunnitteluohjeissa ja yleisesti myös ulkomaisissa tarkasteluissa. Kantavuusvaatimus vain on Hämyllä tiukempi ja sitä voitaisiin edelleen nostaa, jos vaurioitumisriskiä täytyisi vielä pienentää.

TVL:n uudet suunnitteluohjeet (Raksu 1985 /5/) osoittavat KKL:n avulla lasketut päällystämisen ohjevuodet tien liikenteelle avaamisen jälkeen, ks. liite 1. Tämä merkitsee päällysteen kuormituskestävyyden varovaisempaa käyttöä; TVH/Skk:n mukaan kuormituskestävyydestä "käytetään" BS:n osalta enintään 50 % (≤ 2 vuotta) ja ylempien kerrosten osalta 67 %. Alinta bitumilla sidottua kerrosta saa liikennöidä vajaan 1 vuodesta (rakenneluokat 1-3) useisiin vuosiin asti (luokat 5-6).

TVL:n piireihin on muodostunut omia vaiherakentamiskäytäntöjään ja ajoitus on useimmissa piireissä hitaampi kuin Raksu 1985:ssä. Syynä on se, että päällystysvaroja on siirretty ehjiltä vaiheittain rakennetuilta teiltä vaurioituneille vanhoille teille. - Uudenmaan

piiri julkaisi 1987 omat ohjeensa Päällystystoiminnan periaatteita /6/, josta on kuva 1. Sen mukainen ajoitus on Raksu 1985:een verrattuna osittain hitaampi (II kerroksen tekeminen), osittain nopeampi (koko rakenne valmiiksi). Myös kokonaispaksuudet eroavat hiukan toisistaan.

PÄÄLLYSRAKENTEET 1 - 4



Kerrokseen merkitty luku on max. rak. aikataulu vuosissa

E 2 arvot vastaavat AB - massan E - modulia 2500, suluissa olevaa arvoa 1500 MN/m²

Kuva 1. Päällysrakenneluokkien 1-4 vaatimat päällystekerrokset ja niiden ajoitus TVL-U:n mukaan /6/.

Kuka päättää vaiherakentamisen aikataulusta? - Asia kuuluu periaatteessa suunnittelijalle, koska ajoitus on osa mitoitusta. Käytännössä ajoitus on useimmiten siirtynyt rakennustoimialalle tai sen johtamalle hankeryhmälle, joka joutuu ottamaan mitoituksen lisäksi huomioon rahoitusnäkymät, tulevat työjärjestelyt, tien kunnon välivaiheessa jne. Kaikkiaan vaiherakentamisen toteutus on kirjavaa ja etenkin rahoitussuhdanteista riippuvaa.

2 VAIHERAKENTAMISEEN LIITTYVÄ TUTKIMUSTARVE

2.1 Kysymyksen ajankohtaisuus

Vaikka vaiheittain rakentamisella on Suomessa takanaan lähes 30 vuoden historia, siihen on kohdistunut määrätietoista kritiikkiä vasta aivan nykyvuosina. Kritiikki on lähtöisin tien kantavuuden tarkastelusta. Voidaan esim. väittää (R. ORAMA /7/), että suuri osa yleisistä teistä - kestopäällysteisestä tiestöstä jopa 75 % - ei täytä uusien teiden suunnittelun kantavuustavoitteita (MN/m^2) ja että kehitys on 1980-luvulla kulkenut huonoon suuntaan. Yhtenä keinona kantavuustilanteen parantamiseen kirjoittaja ehdottaa vaiherakentamisesta luopumista tai ainakin sen ajoituksen nopeuttamista.

Kirjoitukseen vastannut T. HAILIKARI /8/ pitää pelkoa kantavuuden romahtamisesta liioiteltuna ja korostaa, että tien vaurioitumisnopeus kuvastaa sen kantavuuden riittävyttä tarkemmin kuin väsymistarkastelut, jotka tahtovat jäädä teoreettisiksi. Muissa yhteyksissä apul.johtaja Hailikarikin on silti pitänyt vaiherakentamista jonkinmoisena kantavuusriskinä. Nykykäytännössä on hänen mukaansa epäilyttävää myös se, että tehdään monta kulutuskerrosta hienorakeisine tasausmassoineen päällekkäin, jolloin alttius koko rakenteen deformaatioon kasvaa. - Pääteiden huonoksi väitettyyn kuntoon on myös A. TALVITIEN /9/ mukaan yhtenä syynä päällysteiden rakentaminen vaiheittain.

Vaiherakentamisen edut ja haitat ovat siten tulleet ajankohtaisiksi pohdittaessa pääteiden yleistä kuntoa - kukaan ei kuitenkaan väitä vaiherakentamista ainoaksi syyksi teiden mahdolliseen heikkoon kuntoon, joka näkyy lähinnä urautumisena, epätasaisuutena ja päällystevaurioina. Joka tapauksessa vaiherakentamisen vaikutukset tien kantavuuteen ja vauriokehitykseen sekä toisaalta päällysteen pinnan laatuun alkuvuosina ja kustannussäästöihin ansaitsee laajempaa tarkastelua.

2.2 Tutkimus vaiherakentamisesta

Liitteessä 2 esitetään tutkimussuunnitelma ajankohtaisten vaiherakentamiskysymysten selvittämiseksi. Tärkein on kohta a) eli erilaisten vaiheittain valmiiksi rakennettujen teiden päällystyshistorian ja vauriokehityksen vertailu. Tavoitteena on tehdä päätelmiä tien rakentamisen ajoituksen onnistumisesta ja sitä kautta nykyisten ohjeiden (liitteessä 1) käyttökelpoisuudesta tai muutostarpeista.

Muiden osatutkimusten (liitteen 2 kohdat b - f) lisäksi on syytä tarkastella suppeasti kantavuuden lisäämisen ja "ehtymisen" teoriaa sekä - systemaattisen vaurioaineiston niukkuuden vuoksi - myös joitakin esimerkkiteitä. Nämä valaisevat ainakin joltakin osalta kysymystä siitä, onko päällystekerrokset ajoitettu oikein vai onko rahaa kenties tuhlatu turhaan varmuuteen tai säästämispyrkimyksissä epäonnistuttu tien ennenaikaisina vaurioina.

2.3 Tämän raportin tutkimusaineisto

Teiden käyttäytyminen. Kun varsinaisia koeosuuksia pitkäaikaisin vauriohavainnoin ei ole olemassa (vrt. s. 6-7), lähestytään kysymystä vaiherakentamisen onnistuneisuudesta seuraavista näkökulmista:

1 a. Valitaan TVL:n piireistä U ja H 10-15 tieosaa, joilla on 1-kerroksinen AB-päällyste vuosilta 1981-87. Teiden tulee olla teknisesti uusia eli rakennettuja tai suuntaukseltaan parannettuja. Näiden tieosien vauriot inventoidaan syksyllä 1989 tarkoituksena päätellä, kuinka kauan 1-kerroksista uuden tien AB-päällystettä voidaan liikennöidä ilman vaiherakentamisen kannalta liiallista vaurioriskiä, KVL ja mahd. erikoisolosuhteet huomioon ottaen.

1 b. Valitaan toiset 10-15 tieosaa, joilla on 2-kerroksinen päällyste, jonka ylempi kerros (AB:tä) on v:ltä 1981-86. Ehdot ja inventointi kuten yllä. Tarkoituksena on päätellä, kuinka kauan 2-kerroksista AB-päällystettä voidaan liikennöidä ilman liiallista vaurioriskiä. Lisätehtävinä ovat KVL sekä I ja II päällystämisen väliaika: jos pitkän väliajan tien II päällyste on säännöllisesti enemmän vaurioitunut kuin jo 1-2 vuoden kuluttua II päällysteen saanut tie, tämä viittaisi osaltaan hitaan vaiherakentamisen epäedullisuuteen.

2. Poimitaan H-piiristä sellaiset useampikerroksiset tieosat, jotka on avattu liikenteelle 1979-86 ja joille on tehty vaurioinventointeja eri vaiheissa. Tarkastellaan, onko vauriokehityksessä (vauriosumman kasvunopeudessa) eroja sen mukaan, kuin hidas tai nopea ajoitus vaiherakentamisella on ollut.

(Kohteena on H-piiri, koska siellä on tehty muita piirejä enemmän PMS-kehittelyyn liittyviä vaurioinventointeja.)

3. Poimitaan koko maasta sellaiset useampikerroksiset tieosat, jotka on avattu liikenteelle 1979-86 ja joille on tehty useampia VTT:n vauriomittauksia. Pyritään taas tarkastelemaan vauriokehityksen eroja suhteessa vaiherakentamisen ajoitukseen.

(VTT:n mittaukset ajetaan miltei muun liikenteen nopeudella ja niiden pääkohteena on urasyvyys. Tästä syystä vauriotiedot ovat epätarkempia kuin kohtien 1 ja 2 vaurioinventoinneissa, jotka tehdään kävelyvauhtia.)

4. Tarkastellaan joitakin pitempiä tiejaksoja esimerkkeinä: voidaan tehdä päätelmiä vaiherakentamisen ajoituksen edullisuudesta tien päällystyshistorian ja syksyn 1989 kunnon avulla.

Kaikkiaan tämän raportin havaintoaineisto on niukka. Se johtuu lähinnä ajallisesti peräkkäisten vaurioinventointien vähydestä; pääosa kaikista vauriotutkimuksista on tehty muissa kohteissa kuin uusilla vaiherakennetuilla teillä ja ne palvelevat muita tarkoituksia. Aineiston vähyyttä on pyritty korvaamaan tarkastelun monipuolisuudella ja arviointien puolueettomuudella.

Muut selvitykset. Muista selvityksistä tärkeimpiä ovat omat vertailulaskelmat vaihtoehtoisten päällystysstrategioiden vaikutuksesta liikennekustannuksiin (luvussa 4.4).

Suppeat tarkastelut vaiherakentamisen teoriasta (luvussa 4.1) ja eräistä yksittäiskysymyksistä (luvussa 6) perustuvat kirjallisuustietoihin yms. aineistoon. Lisäksi on haastateltu eräitä TVL:n asiantuntijoita vaiherakentamiskokemuksista (luku 4.3). Ulkomaiden rakentamiskäytäntöä (luvussa 5) on tarkasteltu ohjejulkaisujen, alan tutkimusten ja pohjoismaihin osoitetun kyselyn avulla.

3 KUINKA VAIHEITTAIN RAKENNETUT TIET OVAT KÄYTTÄYTYNEET

3.1 Syksyn 1989 silmävaraisaineisto

Havaintoteiden otospoiminta. Tierekisterin avulla haettiin U- ja H-piireistä kaikki homogeeniset kestopäällysteosuudet, jotka on rakennettu tai parannettu suuntaukseltaan v:n 1980 jälkeen. Pelkkä rakenteen parantaminen ei ole mukana. Kun uusin ja sitä edeltävä päällystysvuosi on tiedossa, luettelosta voitiin valita kullekin vuodelle 1981-87 havaintoteita 2-3 kpl vaurioinventointia varten.

Havainto-osuuksien pituus on yleensä 1000 m, mutta ellei näin pitkää rakenteeltaan homogeenista osuutta ollut tarjolla, on tyydytty lyhyempään. Vauriosumman yksikkö on kaikissa tapauksissa = $m^2/100$ m.

Vaikka atk-ajo tuotti ison pinkan paperia, sopivia havaintoteita ei ollut kaikille vuosille juurikaan yli vähimmäismäärän (2-3 kpl/v). Tämän vuoksi esim. 2-kerrosteita ei ole voitu kauttaaltaan valita siten, että yhden tien päällystysväli olisi 1 vuosi ja toisen samana vuonna päällystetyn tien 4-6 vuotta, mikä olisi luonut kiintoisan vertailuparin. Samoin liikennemäärä ei aina ole niin suuri kuin olisi ollut suotavaa. - Aineiston niukkuus poistaa puolestaan kaikki mahdollisuudet valita kohteita niiden vaurioiden runsauden tai vähyyden mukaan, joten tuloksiin ei sisälly minkäänlaista otosvääristymää.

Suurehkon lisätyön aiheutti tierekisterin päällystetietojen epäluotettavuus, sillä erityisesti toimenpiteen vuosiluku on usein väärin ja toisinaan tieto myöhemmästä päällystyskerrasta puuttuu kokonaan. Väärä tieto ilmeni usein vasta kohteessa. - Vuodet ja päällystelajit tarkistettiin piireistä, viime kädessä urakka-asiakirjoista asti. Sitä vastoin tieosoitteiden tarkka paikantaminen ei tuottanut vaikeuksia.

Otoksessa on mukana 1-kerroksisia teitä yhteensä 16 kpl ja 2-kerroksisia teitä 14 kpl. Aineistossa on se periaatteellinen puute, että vain vajaa puolet kohteista on varsinaisia vaiherakentamisteitä. Muut on joko suunniteltu 1-kerroksisiksi tai jos ne ovat 2-kerroksisia, ylempi kerros on jo kunnossapidon rahoittama uudelleenpäällystys. Käytännössä tällä seikalla ei ole merkitystä asetettujen osakysymysten kannalta (ks. s. 11).

Vauriohavaintojen teko. Vaurioiden inventoinnin suoritti lokamarraskuussa 1989 kaikilla teillä sama henkilö (E. Lehtipuu), muuten TVH:n ohjeen /10/ mukaan, mutta auton sijasta kävellen. Loppusyksystä huolimatta työ oli helppoa tehdä tarkasti. - Eri vauriotyypit kirjattiin 100 metrin osuuksin ja vauriosumma lasket-

tiin seuraavin kertoimin, joita myös TVL:n piirit noudattavat (esitetty alunperin julkaisussa /11/):

- poikkihalkeamat (kpl) 0,1 x lukumäärä
- pituushalkeamat, vinot halkeamat 0,5 x pituus
- keskisaumahalkeamat 0,1 x pituus
- verkkohalkeamat (myös alkavat) 1,0 x pinta-ala
- paikat 1,0 x pinta-ala (minimi 1 m²)
- reiät, purkaumat 2,0 x pinta-ala "
- reunapainumat 0,2 x pituus

Vaurioiden lisäksi mitattiin urasyvyydet 2 m:n oikolaudalla otoksena kultakin osuudelta. Tieto ei palvele suoraan vaiherakentamisen arviointia mutta se täsmentää kuvaa tien kunnosta: tarvitaanko seuraava päällyste lähinnä vaurioiden vai urien vuoksi ja kuinka pian.

Inventoinnin tulokset. Eri teiden vaurioituminen nähdään selvimmän diagrammina, jossa vaaka-akselina on päällysteen ikä (v) ja pystyakselina vauriosumma (m²/100 m). Liite 3 a esittää 1-kerroksisia havaintoteitä ja liite 3 b 2-kerroksisia teitä. Kunkin havaintopisteen viereen on merkitty liikennemäärä KVL 1988 ja 2-kerrosteilla myös päällystekerrosten väliaika (v). Lisäksi asteikkopohjalle on piirretty VTT:n havaintotietutkimuksen /11/ keskiarvokäyrät, jotka vastaavat aineistonsa hyviä ja toisaalta huonoja AB-teitä. Hyvät AB-tiet ovat yleensä leveitä, normien mukaan rakennettuja vilkasliikenteisiä teitä, kun taas huonot tiet, joiden vaurioitumisnopeus on moninkertainen, ovat kapeita, perusparannettuja melko alhaisen liikennemäärän teitä. VTT:n käyrät on otettu mukaan havainnollistamaan erilaisia vertailuja.

Kun pyritään arvioimaan sallittua vauriokehitystä erityisesti vaiherakentamisen kannalta, kuvaa selventää, jos jätetään pois muut vauriot paitsi pituushalkeamat ja verkkohalkeamat. Nämähän aiheutuvat lähinnä kantavuuden puutteesta ja siten voidaan asettaa yläraja mitä enempää ei halkeamavaurioita saisi olla, jotta koko päällystekerroksen käyttöarvo tierakenteen osana ei vaarantuisi.

Liitteissä 4 a ja 4 b esitetään samat otostiet pelkästään verkko- ja pituushalkeamat huomioon ottaen, jolloin vauriosummat pienentyvät jonkin verran. VTT:n taustakäyrät ovat ennallaan eli niissä ovat kaikki vauriot mukana. - Liitteisiin 4 a ja 4 b on lisäksi piirretty vaakasuora rajaviiva kohtaan 7 m²/100 m, mikä vastaa 1 %:a koko ajoradan pinta-alasta. Tämä rajaviiva on yksi mahdollisuus sallitun vaurioasteen arvioimiseksi.

Jos 1 % pinta-alasta koostuisi pelkästään verkkohalkeamista ja näitä olisi kummankin ajokaistan yhdessä raiteessa 0,5 m:n levyisinä, olisi verkkohalkeamapituus kaistaa kohti = 7 m/100 m eli 7 % kaistan pituudesta. Tämä on jo melko huomattava määrä ja se vastaa myös likimain v:n 1984 päällystesuunnitteluohjeen /12/ kriteeriä, jonka mukaan verkkohalkeamapituus saisi olla enintään 5 - 20 % kaistan pituudesta, KVL:stä riippuen.

Tulosten tarkastelu. Aineisto on pienehkö ja kun teiden liikennemäärä ja päällysteen alapuolinen rakenne vaihtelevat tuntuvasti, mitään regressiokäyrää ei kannata piirtää. Nämäkin tiet käyttäytyvät "persoonallisesti" ja esim. poikkeuksellisen nopealle vauriokehitykselle löytyy tiekohtaisia selityksiä. Tavallisimmat ovat huono päällystystyö (esim. loppusyksyllä) lajittumiseen ja heikohko sitomattoman rakenteen kantavuus. Liikennemäärä ei juurikaan vaikuta vaurioitumiseen: samanikäiset havaintopisteet ovat useammin "väärässä" kuin oikeassa järjestyksessä KVL:n kannalta. Urien syvyyteen KVL:n vaikutus on luonnollisesti paljon johdonmukaisempi.

Kaikkiaan otosteiden vauriokehitys on melko hidas eli tiet ovat yleensä VTT:n hyvien AB-teiden tuntumassa. Tämä on odotettua, jos kysymyksessä on normien mukaiset tiet. Selvästi heikommin kestäneet päällysteet - 1-kerroksisista 3-4 kpl ja 2-kerroksisista 3 kpl - ovat jollakin tapaa epäonnistuneet tai näiden teiden alempi rakenne on jotenkin epämääräinen, vaikka ne tierekisterin mukaan ovat teknisesti uusia tieosuuksia. Ne ovat siten vaiherakentamisen kannalta osittain epäedustavia kohteita.

2-kerrosteihin (liitteet 3 b ja 4 b) liittyy kiintoisa kysymys väliajan vaikutuksesta vaurioitumiseen. Mukana on yhteensä 8 vertailuparia (7 ja 8 v vanhoista teistä on 3 havaintoa) ja jakauma menee tasan 4-4 eli vain puolet on tapauksia, joissa pitempään päällystekerrosten väliaikaan liittyy suurempi vaurioituminen. Onkin todennäköistä, että kun mukana ei ole huippusuuria liikennemääriä (nyt KVL < 8000), väliajan pituuden osuus vaurioihin peitetty muiden tekijöiden alle.

Kuinka pian uusi päällystekerros olisi tehtävä? Jos sallittuna vaurioasteena pidetään 1 %:a ajoradan pinta-alasta, tietty määrä havaintopisteitä jää tämän rajan huonommalle puolelle. Vaatimuksiksi ei voida ottaa, että yksikään tie ei saisi ylittää tätä rajaa, sillä poikkeamat ovat vaiherakentamisen kannalta yleensä epä-

tyypillisiä tapauksia (sittenkin vain rakenteeltaan parannettuja tms.) ja yleisohjeiden laatiminen niiden mukaan vaatisi liioittelemaan vaurioiden merkitystä. Kohtuullinen kriteeri saattaa olla esim. seuraava: uusi päällystekerros on tehtävä viimeistään siinä vaiheessa, jolloin 25 % havaintoteistä on vaurioitunut yli rajan.

Liitteen 4 a 1-kerroksisille havaintoteille määritetään 1 %:n vaurioasteen (verkko- ja pituushalkeamat) likimääräinen ajankohta siten, että havaintopisteestä piirretään lähimmän VTT:n kuvaajan suuntainen käyrä kohti 0-pistettä. Tämän käyrän ja 1 %:n vauriosummaa kuvaavan vaakaviivan leikkauspiste osoittaa kysytyn iän. Näin saadaan 16 pisteelle seuraava luettelo tasavuosiin pyöristäen:

A. 1-kerroksiset otostiet, 1 %:n vaurioitumiseen kuluva aika

	1 v	6 v
	3 v	7 v
	4 v	8 v
25 %	4 v	10 v
	5 v	> 12 v
	5 v	> 12 v
	6 v	> 12 v
	6 v	> 12 v

Hajonta on suuri kun 1 %:n vaurioaste voidaan saavuttaa huonoimmillaan jo 1 vuoden kuluttua ja parhaimmillaan ehkä vasta 20 vuoden kuluttua, eikä liikennemäärä vaikuta asiaan johdonmukaisella tavalla. Jos noudatetaan yllä perusteltua kriteeriä, että 25 % näistä teistä saa ylittää 1 %:n vaurioasteen, seuraavan päällystekerroksen ohjeajaksi tulisi = 5 vuotta.

Jos hyväksyttäisiin 2 %:n vaurioaste, kuten ohjeen /12/ hengessä voitaisiin menetellä uudelleenpäällystämässä, joskaan ei yhtä hyvin vaiherakentamisessa, saataisiin seuraava aikasarja:

A. 1-kerroksiset otostiet, 2 %:n vaurioitumiseen kuluva aika

	1 v	9 v
	4 v	9 v
	6 v	10 v
25 %	6 v	> 12 v
	7 v	> 12 v
	7 v	> 12 v
	8 v	> 12 v
	8 v	> 12 v

Seuraavan päällystekerroksen ohjeajaksi tulisi nyt = 7 vuotta.

Liitteen 4 b avulla saadaan 2-kerroksisille havaintoteille vastavasti seuraavat aikasarjat (14 havaintopistettä):

B. 2-kerroksiset otostiet

<u>1 %:n vaurioitumisaika</u>		<u>2 %:n vaurioitumisaika</u>	
1 v	9 v	1 v	12 v
4 v	10 v	6 v	>12 v
4 v	10 v	7 v	>12 v
25 % ----- 5 v	11 v	25 % ----- 8 v	>12 v
7 v	12 v	9 v	>12 v
8 v	>12 v	10 v	>12 v
8 v	>12 v	11 v	>12 v

Jos kriteerinä on 1 %:n vaurioaste ja 25 % teistä saisi ylittää sen, III päällystekerroksen ohjeajaksi tulisi n.6 vuotta. Jos taas kriteerinä on 2 %:n vaurioaste, III päällystekerroksen ohjeajaksi tulisi 8-9 vuotta.

Todettakoon vielä, että tämä suppea aineisto ei anna luotettavia viitteitä I ja II päällystekerroksen väliajan pituuden vaikutuksesta myöhempään vauriokehitykseen. Verrattomasti huonokuntoisin kohde (liitteen 4 b ylin havaintopiste), jossa väliaika on 7 vuotta, on poikkeuksellisen lyhyt osuus (0,3 km) ja sen ylempi päällyste näyttää muutenkin epäonnistuneen. Kohde on merkitty suuntaukseltaan parannettujen teiden luetteloon osana maantietä 113 Kivenlahti-Virkkala, mutta vanhalle paikalle tehtynä se saattaa kärsiä kantavuuden puutteesta.

Sama huomio voidaan tehdä muuallakin sekä 1- että 2-kerroksisilla päällysteillä: keskimääräistä huonokuntoisempien teiden rakenne on usein hiukan epämääräinen, kun taas parhaiten kestäneet ovat kokonaan uuteen paikkaan tehtyjä teitä. Edellä esitetyt seuraavan päällystekerroksen ajoitusta koskevat ohjevuodet ovat siten uusille teille kohtuullisen varovaisia.

Yhteenveto syksyn 1989 silmävaraisaineistosta. II tai III päällystekerroksen nopea toteutus pienentää sitä vaurioitumisriskiä, joka aiheutuu alempien kerrosten epäonnistumisesta. Jos tie taas on rakennettu ohjeiden mukaan ja ilman erityisen epäsuotuisia olosuhteita, alemmat päällystekerrokset vaurioituvat varsin hitaasti ja eri vaiheita on taloudellista venyttää melko pitkälle ajalle.

Vaiherakentamisen ajoitusohje on siten kompromissi, jossa riskit pienennetään vähiin mutta ei ihan olemattomiin esim. seuraavasti:

- 2-kerroksiseksi suunnitellun tien tulisi saada II päällystekerros viimeistään 5-6 vuoden kuluttua
- 3-kerroksiseksi suunnitellulla tiellä saisi II ja III kerroksen väliaika olla enintään 6-7 vuotta.

Syksyn 1989 aineisto ei anna kunnon kuvaa liikennemäärän vaikutuksesta vaiherakentamisen ajoitukseen. Siten mm. kysymys, tarvitaanko päällysrakenneluokkaan 4 AB II päällystekerros, jää muiden selvitysten varaan. (Luokka 4 AB edellyttää KVL:ksi n. 500 - 1500 ajon/vrk.)

3.2 Hämeen piirin vaurioaineisto

Kun luvussa 3.1 tarkasteltiin eri-ikäisiä päällysteitä ja niiden vaurioitumista syksyyn 1989 mennessä, etsitään nyt H-piirin vaiherakentamisteitä, joille olisi tehty useampana vuotena vaurioinventointeja, mieluiten vielä koko rakenteen valmistumisen jälkeen. Tällaista toiveaineistoa ei kuitenkaan löytynyt, sillä vaihteittain rakennetuilta teiltä on toistaiseksi vain satunnaisia vauriotietoja. Siksi on tyydyttävä suppeisiin tarkasteluihin vaurioitumisnopeudesta ja sen yhteydestä tien päällystyshistoriaan.

II päällysteen jälkeinen 1 %:n vaurioaste. H-piirin aineistossa oli 3 tietä, joille oli tehty vaurioinventointi juuri ennen III päällystyskertaa eli useita vuosia II päällysteen jälkeen. Kun lasketaan vaurionopeus¹ ja sen avulla ajankohta, jolloin II päällyste olisi saavuttanut 1 %:n vaurioasteen (vain pituus- ja verkko-halkeamat huomioon), saadaan seuraava asetelma:

<u>Tie ja tieosa</u>	<u>KVL 1988</u>	<u>I ja II päällysteen väliaika</u>	<u>II päällyst. jälkeen 1 %:n vaurioitumiseen kuluva aika</u>
vt 12, 24	8900	3 v	4 v
mt 305, 1	6100	3 v	13 v
pt 13799, 2	3700	5 v	13 v

Vt 12:n vauriokehitys on ollut melko nopea ja jos 1 %:n vaurioastetta olisi pidetty lisäkerrosta edellyttävänä kriteerinä, III päällyste olisi tarvittu 4 vuoden kuluttua (todellisuudessa se tehtiin 5 v:n kuluttua). Jos I ja II päällysteen väliaika olisi ollut lyhyempi esim. v:n 1985 ajoitusohjeen mukaan (lk 2: 1 v), vauriokehitys II päällysteen jälkeen olisi todennäköisesti ollut hitaampi. Vasta III päällysteen (tehty 1988) jälkeinen vauriokehitys

¹ Vaurionopeus laskettu julkaisun /11/ kaavalla $y = a \cdot x^2$, jossa y = vauriosumma ($m^2/100 m$), x = viimeisen päällysteen ikä (v) ja a = vaurionopeutta kuvaava vakiotermi.

kuitenkin osoittaa varmemmin, mikä on tähänastisen ajoituksen todellinen merkitys.

Kahdella muulla tiellä II päällysteen jälkeinen vauriokehitys on ollut erittäin hidasta. Mt 305, 1 sai III päällystekerroksensa juuri 13 vuoden kuluttua ja pt 13799 7 v:n kuluttua. Kummassakin tapauksessa I ja II kerroksen väliaika (3-5 v) on ollut suotuisan lyhyt ja sitä olisi todennäköisesti voinut haitatta pidentää, jos se olisi ollut välttämätöntä.

Seudullisen tien vaurionopeudet. Maantiellä 305 (Hämeenlinna-Pälkäne) on tehty vaurioinventointi 1987 ja vaiherakentamisen onnistumisesta voidaan tehdä varovaisia päätelmiä tieosittain seuraavasti:

	<u>Pääll.historia</u>	<u>Vauriosumma</u> (kaikki)
<u>Mt 305,1</u> (1170-2527 m)	1966: AB	
KVL = 2200	1984: AB 20/100	1987: 27 m ² /100 m (TVL)
	1988: AB 20/100	1989: 0,1 " (EL)

Päätelmä: I päällyste on mennyt 18 v:ssa niin huonoon kuntoon, että II päällysteeseenkin on tullut 3 v:ssa vaurioita 27 m² eli nopeutena $a = 3,0$, mikä ylittää jopa VTT:n /11/ "huonojen teiden" vaurionopeuden ($a = 1,8$). Pikainen III päällystäminen on ollut aiheellinen ja se näyttää onnistuneen, koska 1 v:n kuluttua vauriosumma oli vain 0,1 m²/100 m.

	<u>Pääll.historia</u>	<u>Vauriosumma</u> (kaikki)
<u>Mt 305,1-2</u>	1971: BS	
KVL = 6100-4600	1974: AB 20/100	1987: 10-8 m ² /100 m
	1987: MPK 18/70	

Päätelmä: I ja II päällyste ovat onnistuneet ajoitukseltaan ja muutenkin erinomaisesti, koska myöhempi vauriokehitys on ollut hyvin hidas ($a = 0,06 - 0,05$ eli vain 1/3 VTT:n "hyvien teiden" vaurionopeudesta). Siten myös BS:n liikennöimisessä 3 v:n ajan ei moitittavaa.

	<u>Pääll.historia</u>	<u>Vauriosumma</u> (kaikki)
<u>Mt 305,4</u>	1970: BS	
KVL = 2700	1974: AB 20/100	1987: 5 m ² /100 m
	1982: MPK 20/40	
	1988: AB 20/100	

	<u>Pääll.historia</u>	<u>Vauriosumma</u> (kaikki)
<u>Mt 305,5</u>	1972: BS	
KVL = 2400	1974: AB 20/100	1987: 6 m ² /100 m
	1982: MPK 20/40	
	1988: AB 20/100	

	<u>Pääll.historia</u>	<u>Vauriosumma</u> (kaikki)
<u>Mt 305,6</u>	- " -	1987: 7 m ² /100 m
KVL = 2100		

Seuraavassa esitetään yhdistelmä tieosien 305,1 - 305,6 vaiherakentamisen alun ajoituksesta ja myöhemmästä vaurionopeudesta:

<u>I ja II kerroksen aikaväli</u>	<u>Vaurionopeus v:een 1987</u>
3 v (305,1 - 305,2)	0,06 - 0,05
4 v (305,4)	0,20
2 v (305,5 - 305,6)	0,24 - 0,28

Päätelmä: Vaurionopeus on riippumaton siitä, onko I ja II päällystekerroksen aikaväli ollut 2 vai 3 vai 4 vuotta. BS:ää on voitu näissä olosuhteissa (KVL = 2100-6100) liikennöidä ilman myöhempiä haittoja 3-4 vuoden ajan.

3.3 VTT:n vauriomittauksia eri osissa maata

TVH:n tutkimuskeskuksesta Riitta Olsoselta tiedusteltiin kaikkia sellaisia valta- ja kantatieosuuksia, jotka ovat valmistuneet ≥ 1979 (toimenpiteenä rakentaminen tai suuntauksen parantaminen), jotka kuuluvat vuotuisseurantaan ≥ 1989 ja joille on tehty aikaisemmin vähintään 3 vuotena VTT:n vauriomittaus. Tällaisia osuuksia löytyi koko maasta 9 tieltä, mittauspituudeltaan yhteensä 22,6 km.

Vaiherakentamisen ajoitusta koskevien päätelmien teko horjuu jo sen vuoksi, että VTT:n nopean uramittauksen sivutuotteena saadut vauriot rekisteröidään melko epätarkasti ja niiden korrelaatio vauriosumman kanssa on heikohko /13/. Muistion kirjoittaja on kuitenkin kokeeksi muuntanut VTT:n tulokset vauriolajeittain vauriosummaksi, jolloin vertailu käy päinsä. Toinen vaikeus on siinä, että peräkkäisten vuosien mittaukset ovat usein epäjohdonmukaisia: vauriosumma on vuodesta toiseen sama tai se voi myöhemminä vuosina pienentyä, vaikka tielle ei ole tehty uutta päällystettä.

Milloin näitä epämääräisyyksiä ei ole, tilanne on esim. seuraavan tieosan kaltainen:

<u>Vt 12,24</u>	<u>Pääll.historia</u>	<u>Vauriosumma (kaikki)</u>
KVL = 7900	1980: AB	1982: 0,4 m ² /100 m (VTT)
	1983: AB 25/100	1984: 0,1 m ² /100 m (VTT)
	1988: AB 20/120	1985: 1,6 " (VTT)
		1987: 9,0 " (TVL)
<u>Vaurionopeudet:</u>		
	I kerros 1980-82:	a = 0,10 (hidas)
	II " 1983-84:	a = 0,10 (hidas)
	II " 1983-85:	a = 0,40 (melko nopea)
	II " 1983-87:	a = 0,56 (melko nopea)

Päätelmä: I ja II kerroksen 3 vuoden väliaika lienee sopiva, koska I päällysteen vauriokehitys ollut hidas. Sitä vastoin II päällyste on vaurioitunut melko nopeasti, joten III kerros on ollut tarpeen jo 5 v:n kuluttua. Syy II kerroksen nopeaan vaurioitumiseen on epäselvä; luultavimmin II päällyste on jotenkin epäonnistunut, koskapa koko rakenteen kantavuuden puute olisi näkynyt jo aiemmissa mittauksissa.

VTT:n mittausaineiston lähempi analysointi ei anna selviä viitteitä vaiherakentamisen ajoituksen hyvyyteen tai huonouteen, minkä vuoksi tieosuuksia ei kuvailla tässä enempää. V:n 1989 mittaukset pidentäisivät havaintoaikaa, mutta VTT:n nopean vauriomittauksen epätarkkuus koskee edelleen myös niitä.

3.4 Esimerkkitapauksia

Varsinaista dokumentoitua aineistoa vaihteittain rakennettujen teiden vaurioista eri ajankohtina ei ole. Yleishuomio vilkkaimmilla päätteillä on kuitenkin se, että halkeamavaurioita ei juuri ennätä syntyä ennen seuraavaa, lähinnä urasyvyyden mukaan ajoitettua päällystekerrosta. - Seuraavassa tarkastellaan muutamia tiejaksoja, joilla on tavallisesta poikkeavin ajoituksin rakennettuja osuuksia.

1. Hidas vaiherakentaminen: Mäntsälän ohikulkutie (= vt. 4, tieosat 112-13 ja vertailuna Mäntsälä P - Levanto = vt. 4, tieosat 114-115).

Osuuksien päällystyshistoriat ovat seuraavat:

Vt 4, 112-113:	1981: BS 32/150	Vt 4, 114-115:	1985: BS 32/150
KVL 88 = 9400	1985: AB 25/120	KVL 88 = 9600	1986: AB 25/120
	1989: ABE 22/100		1989: ABE 22/100

Ajoitusta, joka on Mäntsälän ohikulkutiellä ollut tavallista hitaampi, verrataan seuraavassa Raksun ajoitusohjeeseen /5/ ja TVL-U:n omaan ohjeeseen /6/:

	M. ohi- kulkutie	Mäntsälä P - Levanto	Raksu 1985 (1k 1 AB)	TVL-U 1987 (luokka 1)
	4 cm	4 cm	(12 v) 4 cm	5 cm
	5 cm	5 cm	4 cm	5 cm
	6 cm	6 cm	6 cm	7 cm
	8 v	4 v	5 v	4 v
	4 v	1 v	0 v	1 v
	0 v	0 v	0 v	0 v
Yht. 15 cm		15 cm	14 (≥ 16) cm	17 cm

Erityisesti Mäntsälän ohikulkutie on kiintoisa, koska juuri sitä pitivät useat haastatellut selvimpänä esimerkkinä liian hitaasta vaiherakentamisesta. Jälkiarvioinnissa 4.11.1983 tavattiin silloin 2 v vanhassa BS-päällysteessä useissa kohdissa halkeamia sekä purkauksia, jotka johtuivat - pöytäkirjan mukaan - massan lajittumisesta.

Kp-toimialan selvityksen mukaan (T. Tölle 1990) Mäntsälän ohikulkutien paikkauskustannukset ovat todella olleet 1983-84 poikkeuksellisen suuret (v:n 1985 jälkeen ei enää syntynyt ylimääräisiä kp-kuluja). Kustannukset olivat eri vuosina seuraavat:

1982: VA-paikkausta 14 t	--> 2 000 mk/km
1983: VA-paikk. 300 t + ylim. tarkkailukuluja	--> 40 000 mk/km
1984: VA-paikk. 350 t + ylim. tarkkailukuluja	--> 46 500 mk/km
1985: VA-paikkausta 20 t	--> 2 500 mk/km

Lisäksi II päällyste 1985 vei tasausmassaa tavallista enemmän (40 --> 100 kg/m² eli 60 kg/m), mikä toi lisäkuluja n. 90 000 mk/km (T. Tölli). Tätä verrataan tuonnempana säästöihin.

Laadullisesti epäilyttävää on ollut BS-urien paikkaaminen va-luasfaltilla ja sitä edeltänyt pintavesien pääsy halkeamista tien sitomattomiin kerroksiin. Kantavuuksissa tämä ei kuiten-kaan juuri näy: Mäntsälän ohikulkutien keskiarvo 1987 oli = 275 MN/m ja vertailuosuudella = 290 MN/m. Molempien päällyste-paksuus oli tällöin sama eli 11 cm.

Silmävaraistarkastus lokakuussa 1989 osoitti jonkin verran lajittumia ja piennarsaumojen halkeamia molemmilla osuuksilla (uusi ABE 22/100). Mitään aikaisempiin vaiheisiin viittaavia eroja ei tällä pinnalla voitu ainakaan vielä havaita.

Jos Mäntsälän ohikulkutie vaurioituu lähivuosina olennaisesti nopeammin kuin vertailuosuus Mäntsälä P - Levanto, lisäkustan-nukset menevät lähinnä hitaan vaiherakentamisen tiliin, sillä myös osuuden Mäntsälä P - Levanto bitumisora oli kiviaineksen heikkouden vuoksi osittain epäonnistunut. Periaatteessa on otettava huomioon myös huonon pinnan suuremmat ajokustannukset ja epämurkaus, mutta ne eivät liene olleet edes vuosina 1983-84 kovin huomattavat.

Seuraavassa vertaillaan kustannuksia Mäntsälän ohikulkutien toteutuneen (hitaan) ja nopeamman ajoituksen mukaan. Nopea ajoi-tus edellyttää yhtä lisätoimenpidettä kulumisurien tasaamiseksi; alla otaksutaan sen olevan MPK, joka tehdään 4 v edellisen pääl-lysteen jälkeen. Laskelmat aloitetaan vasta II päällystekerrok-sesta, koska BS:n kustannus on molemmissa tapauksissa sama.

Km-kustannukset on arvioitu kunkin vuoden nimellishinnoin, minkä jälkeen ne diskontataan vuoteen 1 (1982). Kokonaissumma muunnetaan sitten vastaamaan v:n 1989 rahan arvoa.

A. Toteutunut ajoitus (hidas):

Vuosi		Silloinen nimellishinta		Vuoteen 1982 diskont. hinta	
Toimenpide					
4 (1985)	AB 25/120 + TAS/40	270 000	mk/km	226 700	mk/km
8 (1989)	ABE 22/100 + TAS	200 000	"	133 000	"
Ylimääräiset toimenpiteet:					
1 (1982)	VA-paikkausta	2 000	"	2 000	"
2 (1983)	VA-p. + ylim. tarkk.	40 000	"	37 700	"
3 (1984)	- " -	46 500	"	41 400	"
4 (1985)	VA-paikkausta	2 500	"	2 100	"
4 (1985)	Ylimäär. TAS/60	90 000	"	75 600	"
				Yht. 518 500 mk/km	

B. Vertailuajoitus (nopea):

1 (1982)	AB 25/120 + TAS/40	220 000	mk/km	220 000	mk/km
4 (1985)	ABE 22/100 + TAS	240 000	"	201 500	"
8 (1989)	esim. MPK, ajorata	80 000	"	53 200	"
				Yht. 474 700 mk/km	

Erotus nopean vaiherakentamisen hyväksi on 43 800 mk/km, mikä tekee v:n 1989 rahana n. 64 000 mk/km ja koko päällystysosuudelle (7,1 km) yhteensä n. 450 000 mk. Tällöin on otettu huomioon päällystehintojen suhdannevaihtelut (1985 oli kallein vuosi, sitten halpeni tuntuvasti). Jos reaali hinnat olisivat koko ajan pysyneet v:n 1982 tasolla, vaihtoehtojen kustannukset olisivat päättyneet melko lähelle toisiaan, kun ylimääräiset toimenpiteet eivät olisi osuneet niin kalliisiin ajankohtiin. Tämä seikka lieventää valittuun aikatauluun kohdistuvaa arvostelua.

Päätelmä: Mäntsälän ohikulkutie kuvaa epäonnisen hidasta vaiherakentamista, jonka ylimääräinen kustannus vastaa vajaata 1/3:aa uuden päällystekerroksen hinnasta. Lisäksi on periaatteessa mahdollista, että vauriokehitys tulevaisuudessa on nopeampi kuin vertailuosuudella - todennäköistä se ei kuitenkaan ole, koska vuosina 1985-89 Mäntsälän ohikulkutie ei ole vaurioitunut tavanomaista enempää.

Arviota ei muuta yllä mainittu suhdannevaihtelu eikä sekään, että varsinainen syy suuriin paikkaus- ja tasauskustannuksiin oli nopeasti kuluva BS-päällyste. Vaiherakentamisen ajoituksen olisi kohtuullisessa määrin katettava tällainen riski tai ainakin olisi ajoitusta pitänyt nopeuttaa heti suurten vaurioiden ilmettyä. Näin meneteltiin välillä Mäntsälä P - Levanto, jonka hidas ajoitus muutettiin juuri BS-alustan heikkouden vuoksi.

Mäntsälän ohikulkutiestä päätellen olisi rakenneluokassa I AB BS:n päälle tuleva II päällystekerros tehtävä viimeistään seuraavana vuotena ja jo samana vuonna, jos BS on erityisen huonoa. Raksu 1985:n ohjeisiin tämä havainto ei kuitenkaan tuo muutosta kun BS:n päälle tulee AB jo vuosina 0-1, ks. liite 1.

2. Alimitoitettu päällyste: Renkomäki-Orimattila (mt. 167, suuntaukseltaan parannetut tieosat 03-05).

Tien päällyste on seuraava verrattuna Raksu 1985:n /5/ ohjeisiin:

Mt 167, 03-05: KVL 88 = 3500	Toteutus: Lk 3 AB	Raksu 1985: Lk 3 AB	Raksu 1985: Lk 2 AB
	5 cm	5 cm	4 cm
	3 v (1990)	6 v	1 v
	5 cm	5 cm	6 cm
	0 v (1987)	0 v	0 v

AB-päällysteen kunto oli syksyllä 1989 2-vuotiaaksi harvinaisen huono. Vauriosumma (E. Lehtipuu) oli $12,2 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ ja monin kohdin selvästi suurempikin. Alkavia verkkohalkeamia oli runsaasti korjattu VA-paikkauksin.

Lähin syy vaurioihin on lajittunut päällyste, joka on tehty v:n 1987 syyskylmillä. Purkaumat olivat alkaneet heti (P. Pietola). Toinen syy on päällysteen alimitoitus: toteutus vastaa rakennetta 3 AB, mutta liikennekuormitus edellyttäisi luokkaa 2 AB, sillä 20 vuoden KKL = $n. 3 \cdot 10^6$. Tällöin olisi II päällystekerros tehty (Raksun mukaan) jo 1 vuoden kuluttua. - Kanta-vuoden painotettu keskiarvo 1988 oli $= 198 \text{ MN/m}^2$, mikä likimain täyttää luokan 3 vaatimuksen (200 MN/m^2), mutta ei luokan 2 vaatimusta 235 MN/m^2 . Lisäksi hajonta oli suuri.

Vauriokehitystä ei ainakaan ole hidastanut tien ylikorkea taseaus (pelloillakin 1,5-3 m), mikä on saattanut vaikeuttaa penkereen tiivistämistä ja heikentää kantavuutta. Tie sopeutuu kovin huonosti ympäröivään, suurelta osalta asuttuun maisemaan.

Vertailuja varten otaksutaan seuraavat päällystyshistoriat ja km-hinnat, kaikki v:n 1989 kustannustasossa; III päällyste arvioidaan tarvittavan 9-10 v:n kuluttua aik. vaurioiden mukaan:

Vaihtoehto 1: toteutus

Ve.2: rakenneluokka 2 AB

1987: AB 25/120	= 180 000 mk/km	1987: BS 32/150	= 180 000 mk/km
1990: AB 25/120 + TAS/40	= 220 000 "	1988: AB 20/100 + TAS/30	= 190 000 "
(1999: AB 20/100 + TAS/40	= 205 000 ")	(1998: AB 20/100 + TAS/40	= 205 000 ")

Lisäksi 1988-90 ylimäär. VA-paikkauksia
yht. 6000 mk/km (T. Töllin ilm.)

Ve.2: ei ylimäär. paikkauksia.

Kun kustannukset diskontataan v:lle 1987, ne ovat muuten kutakuinkin samat, mutta paikkaukset nostavat toteutusvaihtoehdon kalliimmaksi: toimenpiteet 1987-99 maksavat 473 000 mk/km, kun vaihtoehto 2 vuosille 1987-98 maksaisi 467 000 mk/km (kumpikin rakenne on tällöin 14 cm paksu). Myös tien laatu lienee hiukan parempi vaihtoehdolla 2.

Päätelmä: Alimitoitus - luokka 3 AB luokan 2 AB sijasta - olisi edellyttänyt moitteetonta päällystettä ja alustan kantavuutta. Kun näin ei ollut, vauriokehitys on vaatinut ylimääräistä kunnossapitoa sekä seuraavan päällystekerroksen nopeuttamista, mitkä seikat yhdessä nostavat kustannuksia hiukan "oikean" vaihtoehdon yläpuolelle. Ero on kuitenkin pieni ja suurempi merkitys saattaa olla ajokustannusten kasvulla ja epämukavuudella (korjaustyöt), vaikka nekin jäänevät tässä kohtuullisiksi.

Vaiherakentamisen ajoitusohje Raksu 1985 /5/ on sinänsä sopiva tämän tien kannalta, kunhan rakenneluokka on oikea.

3. Vähäliikenteisen tien nopea vaiherakentaminen: Karkkila-Vihtijärvi (mt. 133, suunt. par. osuus Haavisto-Vihtijärvi).

Tien päällyste on seuraava verrattuna Raksun /5/ ohjeisiin:

Mt 133, 02-03 KVL 88 = 590	Toteutus: Lk 3 AB	Raksu 1985: Lk 4 AB	Raksu 1985: Lk 3 AB
	5 cm		4-5 cm
	3 v (1989)		6-8 v
	5 cm	5 cm	5 cm
	0 v (1986)	0 v	0 v

Ensimmäisen AB:n kunto oli 3-vuotiaana kesällä 1989 hyvä: ei vaurioita eikä mainittavia uria. Taseausmassankin menekki oli vähäinen (V. Meriläinen). - Rakenneluokka 3 AB on ylimitoitettu, sillä 20 vuoden KKL on vain $n. 3 \cdot 10^5$ eli rakenneluokan 4 AB alarajalla. Mitoitusta on perusteltu tien raskaalla soraliikenteellä. Tierestiksterin mukaan raskaiden ajoneuvojen osuus 1988 oli 7-12 % koko KVL:stä eli tavanomainen.

Ajoitusta voidaan taloudellisesti verrata paitsi Raksu-ohjeen luokkaan 3 AB, myös saman tien loppuosaan lähellä Vihtijärveä: tieosan mt 133, 03 väliin 3560-4908 m. Tämä tienoikaisu val-

mistui 1972 (SAb 20/120) ja sai II päällysteensä 1987 eli vasta 15 vuoden kuluttua. KVL on n. 10 % pienempi kuin vertailuosuudella. Päällyste oli kulunut, mutta 15 vuoden uusimisväli ei ollut tien kuntoon nähden vielä liian pitkä.

Otaksutaan taas seuraavat päällystyshistoriat ja km-hinnat v:n 1989 hintatasossa (tasaussmassan menekki vaihtelee):

Vaihtoehto 1: toteutus		Ve. 2: rakenneluokka 3 AB	
1986: AB 25/120	= 180 000 mk/km	1986: AB 25/120	= 180 000 mk/km
1989: AB 25/120 + TAS/10	= 190 000 "	1994: AB 25/120 + TAS/30	= 210 000 "
(2004: AB 20/100 + TAS/40	= 205 000 ")	(2009: AB 20/100 + TAS/40	= 205 000 ")

Tarkasteluaika voidaan lopettaa molemmissa vaihtoehtoissa samaan vuoteen 2009 siten, että Ve.1:een lisätään 5/15 seuraavan arvioidun toimenpiteen kustannuksista (diskonttaamalla ne ensin v:sta 2019 v:een 2009). Tämän jälkeen molemmat vaihtoehdot diskontataan 6 %:n korolla vuoteen 1986. Tulos on seuraava:

Ve. 1 (toteutus): 421 000 mk/km
Ve. 2 (Raksu 3 AB): 366 000 "

Säästöä olisi siten kertynyt koko tarkasteluaikana n. 55 000 mk/km. Jos kolmantena vaihtoehtona olisi jo II päällysteen osalta kunnossapidon mahdollistama 15 vuoden päällystysväli (mikä vastaisi Raksu 4 AB:tä), olisi säästö kasvanut yli kaksinkertaiseksi eli n. 120 000 mk:aan/km.

Periaatteellisena vastapainona säästöille on taas kp- sekä ajokustannusten kasvu. Ve.2:ssa tämä kasvu olisi ilmeisesti jäänyt hyvin pieneksi ja Ve.3:ssakin (15 v:n väliaika) vielä kohtuulliseksi, koska tie olisi päällystetty siinä vaiheessa kun sen kunto olisi alittanut normaalit kunnostuskriteerit.

Kaikkiaan ylimääräiset pääomakulut ovat siten n. 55 000 - 120 000 mk/km eli koko tieosuudella (8,9 km) likimain 500 000 - 1 000 000 mk. Tämän vähäliikenteisen tien ylityönsäätönsä lisäkustannus on suurempi kuin vilkasliikenteisen Mäntsälän ohikulkutien liian hitaan vaiherakentamisen aiheuttama lisäkustannus (s. 23; tarkasteluaika on tässä pitempi, mutta toimenpiteitä vähemmän kuin Mäntsälässä).

Päätelmä: Esimerkin kaltainen ylityönsäätönsä on Suomen oloissa poikkeus. Periaatteessa voidaan ylityönsäätönsä ja nopeata vaiherakentamista puoltaa "sijoituksena tulevaisuuteen" (niin tässäkin; lisäperusteluna v:n 1989 runsas päällysterahoitus) sekä tien korkeammalla laadulla. Todennäköisesti tällainen rahan käyttö ei kuitenkaan osu oikeaan koko tieverkon kannalta. Konkreettisempia hyötyjä saataneen esim. sorateiden päällystämällä (parantamisella) tai liikenneturvallisuutta lisäämällä; käytettävissä on nimenomaan samat, tienpitäjälle osoitetut varat.

Ylimääräisen sijoituksen paksuun päällysteeseen - ellei sitä tehdä korvaamaan ohuempia sitomattomia kerroksia - täytyisi jossain vaiheessa alkaa tuottaa selviä kustannussäästöjä tai parantunutta mukavuutta. Tällaista ajanjaksoa on kuitenkin vaikeata osoittaa tulevaisuudessakaan, koska päällysteen kulumisen ja vanheneminen vaativat joka tapauksessa toimenpiteitä aika ajoin.

Raksu 1985:n ajoitusohjeeseen ei mt 133:n esimerkki anna muutoksiin.

3.5 Yhteenvedo vaiherakentamisen havaintoaineistosta

Aineisto osoittaa, että itse päällysteen laatu on sen kestävyyskannalta avainasemassa. Vaiherakentamisen oikea ajoitus on pitkälti kompromissin etsimistä osittain epäonnistuneen päällysteen tai muiden epäsuotuisien olosuhteiden aiheuttaman vaurioriskin ja toisaalta liian varmuuden välillä, jonka haittana on epätaloudellisuus.

Eri rakenneluokkia varten voidaan tehdä seuraavia päätelmiä, jotka ovat varovaisia aineiston niukkuuden vuoksi:

1. Rakenneluokka 1 AB: BS:n päälle tuleva II päällystekerros on tehtävä viimeistään vuonna 1 ja erityisen suurella liikennemäärällä sekä huonon BS:n varalta jo vuonna 0. - Ei muutosta Raksu 1985:n /5/ ohjeeseen (0 v, painuma-alttiilla teillä pidennys 1 v:een).

III päällystekerros: vt 12:n (s. 18) ja vt 4:n (s. 21) antamien pääasiassa halkeamavaurio-viitteiden mukaan pitäisi KKL-alueella $(5...7) \cdot 10^6$ III päällysteen tulla jo vuosina 3-4. Tätä suuremman KKL:n alueelta ei ole aineistoa, mutta johdonmukaisuuden vuoksi pitäisi III päällyste ajoittaa ilmeisesti jo vuosille 2-3. - Mainittu huomiot merkitsisivät Raksu-ajoituksen (4 ja 5 v) nopeuttamista.

IV päällystekerros: ei havaintoaineistoa.

2. Rakenneluokka 2 AB: BS:n päälle tuleva II päällystekerros on tehtävä viimeistään 1-3 (poikkeuksellisesti 4) vuoden kuluttua, liikennemäärästä ja BS:n kulutuskestävyydestä riippuen. - Ei muutosta Raksu-ohjeisiin (1 v).

III päällystekerros: KKL-alueella $(3...5) \cdot 10^6$ pitäisi III päällysteen tulla viimeistään vuosina 5-9, jos II kerros on tehty v. 1 (vrt. s. 17). KKL-alueella $(2...3) \cdot 10^6$ ajoitus saisi olla hitaampi, ohjevuosina n. 6-13. - Raksu-ohjeen ajoitusta (7 v ja 11 v) lienee hiukan nopeutettava, riippuen muista tarkasteluista.

3. Rakenneluokka 3 AB: Jos I päällyste on AB:tä, II kerroksen ohjevuodeksi tulisi otosteiden (s. 16) perusteella 5-6 vuotta. Yksittäistapaukset viittaavat lyhyempäänkin tai selvästi pitempään, ehkä 8-9 vuoden aikaan asti. - Raksu-ohjeen II kerroksen ajoitusta (6 tai 8 v KKL:stä riippuen) olisi vähän nopeutettava tai ainakin olisi annettava liikkumavaraa esim. 4-8 vuoteen, jakamatta rakenneluokkaa 3 enää kahteen alueeseen KKL:n mukaan. Nopea ajoitus koskisi lähinnä rakenteeltaan parannettavia teitä.

Jos rakenneluokan 3 AB I kerros tehdään BS:stä, tämän päälle tulevan AB-kerroksen ohjevuodeksi täytyisi ottaa 1-3 (4) vuotta. Aika on niin paljon lyhyempi kuin jos I kerros tehdään AB:stä, että BS-vaihtoehto muodostunee kannattavaksi vain luokan 3 suurimmilla KKL-arvoilla.

4. Rakenneluokka 4 AB: Melko usein lk:n 4 AB tie vaurioituu verkko- ym. halkeamin ennen sellaista urautumista, joka vaatii kunnostuspäällystyksen. Tämän mukaan myös lk:n 4 AB teille pitäisi ohjelmoida toinen mitoitukseen sisältyvä päällystekerros. Siitä voitaisiin luopua, jos rakenne on muuten poikkeuksellisen kantava. - II päällystekerrokselle olisi osoitettava liikkumavaraa (s. 16) ja toteutusajaksi ehkä vuodet 5-10. Tämä olisi uutta nykyisiin Raksu-ohjeisiin.

Jos vaiherakentamisen ajoitusohjeita nopeutetaan, olisi samalla varoitettava ylimitoituksesta ja ennenaikaisesta päällystämisestä, jos tien kantavuus on nykyisten ohjeiden mukainen. Virhesijoituksesta ei yleensä saada kustannuksia vastaavaa hyötyä, ellei liikenne kasva ennalta täysin arvaamattomalla tavalla.

4 VAIHEITTAIN RAKENTAMISEN KANNATTAVUUDEN EDELLYTYKSET

4.1 Kantavuuden lisäämisen teoriaa

Tien kantavuus tarkoittaa suppeassa merkityksessä muodonmuutoksen käänteisarvoa eli kimmomodulia (MN/m^2) ja laajemmassa merkityksessä kuormitusvaurioiden lisääntymisen eli vaurionopeuden ($m^2/100 m/v$) käänteisarvoa, joskin vaurioitumisnopeuteen vaikuttaa myös muita tekijöitä. Tiekohtainen kantavuustavoite taas on yleistäen se, että tien ylin kerros vaurioituisi seuraavaan kunnostukseen asti lähinnä kulumalla tai vanhenemalla, mutta ei kantavuusvaurioiden. Kantavuusvaurioita ovat:

- verkkohalkeamat ja osittain pituushalkeamat
- päällysteen ja sitomattoman rakenteen deformaatiot
- rakenteen epähomogeenisuudesta aiheutuvat pienet painumat.

Jos on saatavissa tietoja sekä kantavuudesta (kimmomodulista) että vaurionopeudesta, vaurionopeus on toimenpiteiden kannalta todistusvoimaisempi, koska vasta se pakottaa tien korjaamiseen. Toisaalta kantavuus antaa "ennakkotietoja" tien käyttäytymisestä kun vaurioita ei vielä ole. Siten kantavuus on välttämättömän laskentasuure myös vaiherakentamisen suunnittelussa.

Kantavuusvauriot aiheutuvat väsymiskuormituksesta, minkä vuoksi vilkkaiden teiden kantavuuden on oltava suurempi kuin vähäliikenteisten, vrt. Minerin laki /14/. Siten on yleisesti hyväksytty se periaate, että tien väsymiskestävyys vähenee kuormituskertojen lisääntyessä ja "ehtyy" kokonaan kun tietty KKL on saavutettu eli kun käyttöaste on 100 %, vaikka mitattu kantavuus (MN/m^2) ei olisi muuttunut lainkaan. Vaurionopeus kasvaa tällöin liian suureksi.

Kantavuuden käyttöastetta on vaikea tietää tarkasti, vaikka tien päällystyshistoria ja KVL tunnetaankin. Syitä ovat mm. seuraavat:

- onko edellinen päällystysvaihe lähes "nollannut" siihenastisen KKL:n vai onko toimenpide ollut liian kevyt tai puutteellinen esim. huonon tartunnan vuoksi
- onko laskelmien keskimääräinen riippuvuussuhde $E_{tarp} = f(KKL)$ tyydyttävästi voimassa myös tarkasteltavalla tiellä?

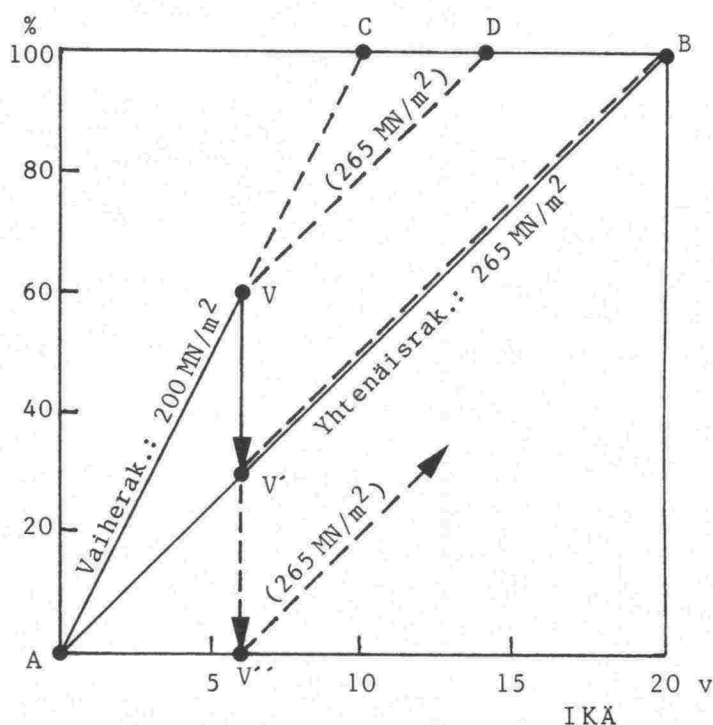
Käytännössä kunnossapidon toimenpiteitä ei voi paljoakaan ohjelmoida kantavuuden ja käyttöasteen varassa vaan yhä enemmän itse vauriohavaintojen perusteella, ks. esim. PMS-yhteenvetoa /15/.

Kun vaiheittain rakennettavat tiet saavat välivaiheissa olla olennaisesti vähemmän vaurioituneita kuin kunnostusta odottavat valmiit tiet, välivaiheiden ajoitusta on harkittava myös kantavuuden käyttö-

asteen kannalta. (Luvun 3 havainnot ja päätelmät perustuvat yksinomaan päällysteiden vaurioitumiseen.) Välivaiheiden käyttöasteen on jäätävä selvästi alle 100 %:n seuraavista syistä:

- vauriot ja urat ovat jo sellaisenaan liian suuret, jos kantavuudesta on käytetty lähes 100 %
- ilman vaurioitakin on uuden ja vanhan rakenteen yhteistoiminta jonkin verran epävarma
- alempi rakenne ei enää kestä alentuneitakaan jännityksiä, jos sen käyttöaste kulutuskerroksena on ollut lähes 100 %, kuva 2.

KANTA-
VUUDEN
KÄYTTÖ-
ASTE



Kuva 2. Kaavio kantavuuden käyttöasteesta yhtenäisrakentamisessa ja vaiherakentamisessa (liikenne otaksutaan vakioksi eri vuosina). Suora A-B kuvaa 20 vuodeksi mitoitettua yhtenäisrakentamista ja lyhyempi suora A-V vaiherakentamisen I vaihetta. Ellei II vaihetta tehtäisi, 100 %:n käyttöaste tulisi vastaan pisteessä C.

Ajankohtana V seuraa II päällystysvaihe, joka nostaa tien kantavuuden samaksi kuin yhtenäisrakentamisessa. Jos I kerros olisi vaurioitunut liikaa tai rakenne ei toimisi yhtenäisesti, KKL jatkaisi kasvuaan pisteestä V ja 100 % täytyisi pisteessä D. Jos taas toimenpide "nollaisi" alemman rakenteen väsymisen täydellisesti, KKL nollautuisi pisteeseen V'' ja 100 %:n käyttöaste saavutettaisiin vasta pisteen B jälkeen (> 20 v).

Käytännössä alempi päällystekerros jatkaa väsymistään mutta pienemmin muodonmuutoksin, jolloin käyttöasteen kuvaaja voi esim. yhtyä suoraan V'-B. Uuden kerroksen paksuudesta ja alemman kerroksen väsymisominaisuuksista riippuu, onko "nollaantuminen" tätä suurempaa vai pienempää, jolloin 100 %:n käyttöaste saavutetaan myöhemmin tai aikaisemmin kuin suoran A-B yhtenäisrakentamisessa.

TVH:n vaiherakentamishojeita laadittaessa on kantavuuden teoreettinen käyttöaste pienentynyt: v:n 1964 ohjeissa /1/ se oli 80 % (R. Orama), v:n 1985 ohjeissa /5/ BS:n osalta 50 % ja AB:n osalta 67 % (K. Lehtonen). - Englannissa ABELL /16/ pitää sopivana 67 - 75 %:n käyttöastetta ja on laatinut kustannusvertailunsa 75 %:n pohjalta. USA:n Asphalt Institute /17/ puolestaan suosittelee alemmille kerroksille 60 %:n käyttöastetta.

Kaikki mainitut %-luvut ovat suurehkoja ja sallivat melko hitaan ajoituksen. Vaikka käyttöastetta varmuuden vuoksi pienennettäisiin, alemman kerroksen väsyminen ei näytä vaativan nopeampaa vaiherakentamista kuin mitä aiheutuu vaurioista ja erityisesti BS:n urakulumista.

4.2 Funktion $E_{tarp} = f(KKL)$ tarkastelua

Vaiherakentamisen kantavuustarkastelut samoin kuin rakenteellista mitoittamista koskevat TVL:n ohjeetkin perustuvat 1960-luvulta alkaen tiettyyn laskennalliseen riippuvuuteen tien pinnalta mitatun E-modulin ja 10 tonnin akselien lukumäärän eli KKL:n välillä. Tämä riippuvuus pohjautui alunperin suomalaisiin tulkintoihin (R. Orama ym.) AASHO-kokeesta ja esitettiin vuosisista 1962-63 lähtien seuraavassa muodossa:

<u>KKL</u>	<u>E_{tarp}</u>
10^5	128 MN/m ²
10^6	160 "
10^7	320 "

Tavoitteita kiristettiin olennaisesti 1970-luvun lopulla ja ne julkaistiin laajempaan porrassfunktiona Rapasu-ohjeissa /18/ 1980. Vaatimustason nousu perustui lähinnä m-tston omaan päällystevaurioiden seurantaan sekä raskaiden ajoneuvojen kuormitusekvivalenssin tarkempaan analyysiin. V:n 1985 Raksu-ohjeissa /5/ on E_{tarp} :n arvoja edelleen hiukan nostettu. Syynä ovat uudet vauriopäätelmät mutta myös ohjeiden tarkoitushakuisuus: pienillä liikennemäärillä kantavuus kannattaa ylittää, koska lisäkantavuus saadaan halvalla (routasuojaus on jo paksuntanut sitomattomia kerroksia). Samalla paranee varmuus yllättäväinkin KKL:n kasvun varalta. - Sittemmin alennettu murskeen laskennallinen E-moduli (350 MN/m² ---> 280 MN/m²; Skk:n muistio 16.5.1989) paksuntaa sidottuja kerroksia osittain, mutta pysyttää varsinaiset kantavuustavoitteet ennallaan.

Raksu-ohjeen /5/ AB-porrassfunktio on kaavana seuraava /15/:

$$E_{tarp} = 200,7 \cdot \log KKL - 953,6 \quad (KKL > 5 \cdot 10^5)$$

Funktion E_{tarp}/KKL ilmaisukyky. Matemaattinen yhteys E/KKL on erittäin hyödyllinen "työkalu", joka samalla yksinkertaistaa kaikkea kantavuuden pohdintaa. Sen nykyisiä lukuarvoja vastaan ei esim.

tämän kirjoittajalla (EL) ole huomautettavaa (tutkin itsekin 1960-luvulla etenkin sorateiden E/KKL-riippuvuutta).

Pelkkä E-moduli ei kuitenkaan riitä osoittamaan tien lähivuosina kestävä KKL:ää. Yleissyy tähän on se, että E-moduli kuvaa vain jonkin kuormituksen synnyttämää paikallista muodonmuutosta eräänä ajankohtana, kun taas todellinen kuormituksen sietokyky riippuu tien kokonaiskäyttäytymisestä, jossa ovat mukana tien koko pituus ja poikkileikkaus, rakennekerrokset pohjamaasta alkaen ja olosuhteet eri vuodenaikoina. Funktion E/KKL epätarkkuustekijöitä voidaan eritellä seuraavasti:

- Etäp riippuu mm. eri kerrosten kantavuuden "sopivasta" kasvusta ylöspäin tultaessa. Jos $E = 200 \text{ MN/m}$ ja pohjamaa on pehmeikköä, kuormituskestävyys on suurempi kuin jos mitattu kantavuus on sama ja pohjamaana on kangasmaasto; vrt. monien turvesuoteiden hyvä kestävyys huolimatta alhaisista E-moduleista.

- Rakennekerrosten puutteellinen tartunta (asfaltti keskenään ja sitomattomaan alustaan), jolloin kerrokset eivät toimi yhteisenä jäykästi, vaikka mitattu E-moduli on suuri. Päällysteen vaurionopeudesta ei saada mitään vihiä.

- Materiaalien omat E-modulit eivät ole läheskään ainevakioita; hyvin olennainen on mm. asfalttikerrosten suuri lämpötilariippuvuus. Tämä heikentää laskelmien ja mittausten korrelaatioita.

- Itse kantavuusmittauksille ominainen tuntuva hajonta, mitä olosuhteiden muuttuminen samallakin tiellä ja vuodenaikojen vaihtelu edelleen suurentavat. Tulos on aina karkea likiarvo, jota tilastollinen tarkastelu täsmentää vain osaksi.

- Jo liikennöidystä tiestä on tiedettävä myös sen kantavuuden käyttöaste - pelkkä E-moduli ei riitä päällysteen kestojen enustamiseen. Kantavuusvaurioita on todettu sellaisillakin teillä, joiden kantavuus on jo alun perin ylittänyt tavoitteen, ks. Kantavuustyöryhmän väliraportti 31.1.1984.

Kaikesta kuvatusta epämääräisyydestä aiheutunee sekin, että E-modulin tai vastaavan muodonmuutossuureen käyttö kuormituskestävyyden arvioinnissa rajoittuu melko harvoin maihin (mm. L-Saksaan ja Englantiin) eikä E-modulin hyödyntämistä laaduntarkkailussa, PMS-kehitelmissä ym. yhtä laajasti kuin näihin vuosiin asti Suomessa tarvittane missään ulkomailla. On vaarana, että meillä pidetään keskimääräistä funktiota E/KKL tarkkana "luonnonlakina", jonka varassa spekuloidaan aiheettoman yksityiskohtaisesti.

Vaiherakentamiseen on yllä sanotulla se yhteys, että kaikki E-moduliin perustuvat kantavuustarkastelut ovat siinäkin epävarmuuden

ja melkoisen hajonnan alaisia. Lienee mahdotonta laatia kantavuuden muutoksiin perustuvaa yleistä ajoitusohjetta, joka olisi kaikilla teillä lähelläkään taloudellista optimia. Tämä aiheuttaa sen, että tiekohtaisille vauriotarkasteluille (urakuluminen ml.) on pantava pääpaino myös vaiherakentamisen ajoituksessa.

4.3 Päällysteinsinöörien mielipiteitä vaiherakentamisesta

Muistion kirjoittaja (EL) on haastatellut vaiheittain rakentamisesta seuraavia TVL:n insinöörejä:

- Erkki Nevala TVL-U
- Pekka Pietola "
- Seppo Mäenpää "
- Väinö Meriläinen "
- Tapio Tölli "
- Harri Saarinen TVL-H
- Markku Kleemola TVL-V

Lisänä on eräitä muita keskusteluja ja kyselytuloksia.

Tähänastinen käytäntö. Nykykäytäntöä kuvaa maatutkimusalan neuvottelupäivillä 1.11.1989 esitetty kirjallinen kysymys (K. Lehtonen) piirien vaiherakentamisen ajoituksesta. Vastauksia saatiin 6, joista 5 totesi piirinsä käytännön hitaammaksi kuin Raksu 1985 ja vain 1 tätä nopeammaksi. (Vastaaajissa ei ollut U-piiriä, joka noudattaa melko tarkasti omaa v:n 1987 ohjettaan /6/, ks. tämän muistion s. 9).

Lähiajan tavoitteeksi ilmoitti samassa kyselyssä 4 vastaajaa Rak-su-ohjeen noudattamisen. Hitaampaan tai nopeampaan ei pyri kukaan.

Taustaksi todettakoon vielä, että 1960- ja 1970-luvulla on silloisia niukkoja ohjeita sovellettu väljästi ainakin hitaan ajoituksen suuntaan. Niinpä U-piirissä oli osa vt 1:n moottoriliikennetie-osuutta (ennen Lohjaa) BS-pintaaisena 5 vuotta, tietyt osat kt 53:a (hyvin kantavalla harjulla) 5-7 vuotta jne. Nämä päällysteet eivät silti vaurioituneet pahasti, mutta kuluivat ohuiksi. Tätä pitivät U-piirin insinöörit nykyisin ehdottomasti vältettävänä.

Bitumisoran päällä liikennöinti. BS:n liikennöinnin rajoittaminen 0-1 vuoteen oli erityisen toivottavaa kp-toimialan mielestä, kun taas rak.toimiala ei vastusta suotuisissa oloissa (lk:ssa 2) myöskään 2 v:n käyttöaikaa. Teknisesti olisi päästävä siihen, että BS ei tarvitsisi jatkuvaa uratasasta vaan lähinnä vain painumien tassaamisen. BS:n lujuutta riskitilanteissa varmistaisi 7 cm:n paksuus.

Liian nopeita tai hitaita ajoituksia. Yhtäjaksoisesta tai muuten nopeasta rakentamisesta ei juuri ole osoitettavissa teknisiä haittoja, koska tiivistäminen on melko tehokasta ja työmaaliikenne kuormittaa tietä yhden talvikauden yli. Riskejä liittyy lähinnä korkeisiin penkereisiin ja kaikkiin pehmeikköosuuksiin, jotka olisi ajoitettava sitomattoman rakenteen osalta erikseen.

Liian hitaan vaiherakentamisen esimerkit koskevat lähinnä BS:n ylipitkää käyttöä (mm. Mäntsälän ohikulkutiellä, ks. s. 21). Väsymiskestävyysen ehtymisestä aiheutuvaa myöhempien päällystekerrosten tavallista nopeampaa vaurioitumista ei ollut pantu merkille.

Yleiskäsitys on esimerkkien vähyydestä huolimatta se, että Raksu-ohjeen /5/ ajoitusta pitäisi paikoin hiukan nopeuttaa. BS:n ylipitkästä käytöstä täytyisi luopua kokonaan.

Muita vaiherakentamisen ajoitukseen liittyviä seikkoja

- Jos AB-päällyste tehdään samana vuonna kuin BS, BS-laatta voitaisiin suunnitella kapeammaksi. Tämä säästö ei kuitenkaan yleensä riitä siirtämään AB:n tekoa 1 vuotta aikaisemmaksi.

- Keino parantaa ajettavuutta "venyttämällä" itse päällystysvaihetta: tehdään taseus (TAS tai JYR) heti keväällä ja AB-laatta vasta myöhemmin kesällä. Näin saadaan palvelutaso nousemaan jo 3-4 kk ennen varsinaista uudelleenpäällystystä; uusia uriahan ei tarvitse kesäkautena pelätä. (Ehto: ei suuria ylimääräisiä asema- tms. kustannuksia sen vuoksi että samalle tielle tullaan kahdesti.)

- Rakenneluokan 4 AB II (mitoitettun) päällystekerroksen tarve: käsitykset menevät ristiin. Kunnossapidossa voidaan antaa "taseoitusta" siten, että jos tiellä on vain 1 päällystekerros, se otetaan uudelleenpäällystykseen hiukan parempikuntoisena kuin vastaava tie, jolla on 2 kerrosta.

- Vahvistamattomilla pehmeiköillä, joilla painuminen kestää kauan aikaa kannattaa harkita väliaikaiseksi päällysteeksi OS:ää tai SOPia. Nämä ovat aikanaan poistettavissa tai peitettävissä helpommin kuin liikaa painunut AB.

- Sitomaton kantava kerros olisi sidottava tai stabiloitava nykyistä useammin. Menettely vähentäisi myös hitaaseen vaiherakentamiseen liittyviä kantavuusriskejä.

4.4 Liikennekustannusten vertailua eri tienpitostrategioilla

Luvun 3.4 todellisten esimerkkien lisäksi tarkastellaan seuraavassa eräiden hypoteettisten vaihtoehtojen kustannuksia. Tarkoituksena on selventää kuvaa vaiherakentamisen vaikutuksesta liikennekustannusten summaan, minkä lisäksi myös muu tien laatu pyritään ottamaan huomioon.

1. Nopea ja hidas ajoitus rakenneluokassa 2 AB

Ylläpidetään samaa laatutasoa molemmilla strategioilla ilman urapaikkauksia. Tasausmassaa käytetään vain 1 v:n ikäisen alustan tasaamiseen; myöhemmin turvaudutaan jyrshintään. Myös pelkkä tasausjyrshintä tulee kysymykseen ≥ 15 cm paksun päällysteen kunnostusmenetelmänä.

Lähtötilanne:

- Tieosuuden pituus 10 km, leveys 10 m
- Mitoitus-KVL = 8000, raskaita ajoneuvoja = 800
- $KKL_{20\text{ v}} = 4 \cdot 10^6$
- Hintataso: 1989, reaalikorko = 6 %

Mitoitusrakenne:

4 cm	AB
4 cm	AB
6 cm	BS

Huom. Lk:n 2 AB vähimmäispaksuus on vain 13 cm, mutta kaavion 14 cm vastaa paremmin käytäntöä.

Yksikkökustannukset:

- 6 cm BS	200 000 mk/km
- 4 cm AB, ei tasausta ...	150 000 "
- TAS/2 cm JYR + 4 cm AB..	190 000 "
- " - + 5 cm AB..	210 000 "
- 1 cm JYR + 4 cm AB	180 000 "
- 2 cm JYR (tasausjyrshintä)	50 000 "
- MPK (pelkkä ajorata) ...	80 000 "

Kestoiät (uusimiskriteerinä urasyvyys):

- AB-laatta	6 v
- Tasausjyrshintä	3 v
- MPK	3 v

Ylimääräiset aikakustannukset: Otaksutaan eri toimenpiteiden aiheuttavan liikenteelle seuraavat viivytykset:

- AB + TAS/JYR: jokaisen ajoneuvon matka hidastuu keskimäärin 5 min 10 vrk:n aikana koko 10 km:n osuudella. Tämä tekee $= 8000 \cdot 10 \cdot 5 / 10 = 40\,000$ min/km $= 670$ tuntia/km
- Pelkkä AB: sama viivytys 7 vrk:n aikana $\rightarrow 8000 \cdot 7 \cdot 5 / 10 = 28\,000$ min/km $= 470$ tuntia/km
- JYR tai MPK: viivytys kestää keskimäärin 3 min 5 vrk:n aikana $\rightarrow 8000 \cdot 5 \cdot 3 / 10 = 12\,000$ min/km $= 200$ tuntia/km.

Otaksutaan henkilöautojen ajan arvoksi = 30 mk/h ja raskaiden ajoneuvojen keskimäärin = 100 mk/h (julkaisua Ajokustannukset 1989 hiukan yksinkertaistaen). Tällöin eri toimenpiteet aiheuttavat seuraavat aikakustannukset:

- AB + TAS/JYR: 25 000 mk/km
- Pelkkä AB: 17 000 "
- JYR tai MPK: 7 000 "

Vaihtoehto A (nopea vaiherakentaminen):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset mk/km</u> <u>(pääll.+aikakust.)</u>	<u>Pääll.paksuus</u> <u>vuoden lopussa</u>
0	6 cm BS	200 000	
0	4 cm AB	150 000 + 17 000	10 cm
1	pain. korj. + 4 cm AB	190 000 + 25 000	14 cm
7	2 cm JYR + 4 cm AB	190 000 + 25 000	16 cm
13	2 cm JYR	50 000 + 7 000	14 cm
16	1 cm JYR + 4 cm AB	180 000 + 25 000	17 cm

(n. 22 seuraava toimenpide)

Kun kustannukset diskontataan vuoteen 0, tulos on seuraava:

- Päälllystystoimenpiteet 20 vuoden aikana: 750 000 mk/km
- Pääll.toimenpiteiden aih. aikakust. 70 000 "

Yhteensä 820 000 mk/km

Vaihtoehto B (hidas vaiherakentaminen):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset mk/km</u> <u>(pääll.+aikakust.)</u>	<u>Pääll.paksuus</u> <u>vuoden lopussa</u>
0	6 cm BS	200 000	6 cm
1	pain. korj. + 5 cm AB	210 000 + 25 000	11 cm
7	2 cm JYR + 5 cm AB	210 000 + 25 000	14 cm
13	2 cm JYR + 4 cm AB	190 000 + 25 000	16 cm
19	MPK	80 000 + 7 000	17 cm

(n. 22 seuraava toimenpide)

Kun kustannukset diskontataan taas vuoteen 0, hidas vaiherakentaminen tuottaa seuraavan tuloksen:

- Päälllystystoimenpiteet 20 vuoden aikana: 653 000 mk/km
- Pääll.toimenpit. aih. aikakustannukset: 54 000 "

Yhteensä 707 000 mk/km

Kommentteja ja jatkotarkasteluja:

1. Hidas vaiherakentaminen tulee tässä esimerkissä kaikkiaan n. 14 % halvemmaksi ja tienpitäjällekin n. 13 % eli varsin tuntuvasti halvemmaksi kuin nopea vaiherakentaminen, olettaen, että päälllysteen muu kunnossapito on samanhintaista. (Esimerkin käyttöiät ovat sikäli lyhyitä, että mainittavaa paikkaustarvetta ei pitäisi syntyä.)

2. Vaihtoehdot A ja B ovat teknisesti ja kokonaispaksuudeltaan varsin tasaveroisia. Ratkaisuja on luonnollisesti monta muutakin, kuten seuraavassa lyhentäen esitettävät vaihtoehdot C ja D, joista jälkimmäinen vastaa TVL-U:n ajoitusohjetta /6/:

Vaihtoehto C (keskinopea vaiherak.)

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Paksuus</u>
0	6 BS	6 cm
1	pain.korj. + 5 AB	11 cm
4	JYR + 4 AB	13 cm
10	JYR + 4 AB	15 cm
16	MPK	16 cm
19	JYR	14 cm

(n. 22 seuraava toimenpide)

Vaihtoehto D (TVL-U:n ohje)

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Paksuus</u>
0	6 BS	6 cm
2	TAS + 4 AB	10 cm
6	TAS + 4 AB	14 cm
12	JYR + 4 AB	16 cm
18	MPK	17 cm

(n. 21 seuraava toimenp.)

Yhteen lasketut kustannukset ovat keskinopealla ve. C:llä = 765 000 mk/km eli nopean ja hitaan ajoituksen puolimaissa ja TVL-U:n vaihtoehto D:llä = 680 000 mk/km. Viimeksi mainittuun on kuitenkin lisättävä BS:n suurempia tasauskuluja arviolta 20 000 - 30 000 mk/km ja n. 4000 mk/km sen vuoksi että suluissa mainittu "seuraava toimenpide" tarvitaan 1 vuoden aikaisemmin kuin muissa vaihtoehtoissa. Nämä lisäkulut huomioon ottaen ve. D on kutakuinkin saman hintainen kuin halvin ve. B (hidas vaiherakentaminen), mutta D on ilmeisesti BS:n jälkimmäisenä käyttövuotena laadultaan hiukan huonompi.

Suhteelliset kustannukset eri vaihtoehtoilla ovat seuraavat:

Ve. A (nopea ajoitus):	100
Ve. B (hidas):	86
Ve. C (keskinopea):	93
Ve. D (TVL-U):	83 + suuremmat kp-kulut.

3. Edellä noudatettu v:n 1989 hintataso edustaa halpaa bitumia. Seuraavassa arvioidaan vaihtoehtojen A-D kustannukset, jos bitumin hinta olisi vuosina 0 ja 1 edelleen v:n 1989 tasolla mutta nousisi vuodesta 2 alkaen kaksinkertaiseksi eli likimain v:n 1985 tasolle. "Kalliin bitumin" aikana yksikkökustannukset olisivat silloin seuraavat, jos hintataso jäisi muuten aivan ennalleen:

- TAS/30 + 4 cm AB:	247 000	mk/km
- 2 cm JYR + 4 cm AB:	235 000	"
- 2 cm JYR + 5 cm AB:	266 000	"
- 1 cm JYR + 4 cm AB:	225 000	"
- 2 cm JYR:	50 000	"
- MPK/50:	96 000	"

Kun noudatetaan muuten samaa laskentatapaa kuin edellä, saadaan eri vaihtoehtoilta seuraavat 20 vuoden ajalta yhteen lasketut kustannukset:

Ve. A (nopea ajoitus):	868 000	mk/km	-->	suhdeluku	100
Ve. B (hidas):	771 000	"	-->	"	89
Ve. C (keskinopea):	832 000	"	-->	"	96
Ve. D (TVL-U):	799 000	"	-->	"	92 + kp-kulut.

Havaitaan, että bitumin olennainen kallistuminen strategian valinnan alkuvaiheiden jälkeen (vuodesta 2 alkaen) tuo vaihtoehdot hiukan lähemmäksi toisiaan, mutta hidas ajoitus on edelleen edullisin. (Itse toimenpiteet tulisivat todennäköisesti osittain vaihtumaan, kun esim. JYR ei kallistuisi lainkaan, mutta TAS kallistuisi bitumisisältönsä osalta.)

2. Nopea ja hidas ajoitus rakenneluokassa 3 AB

Pyritään taas selviämään ilman urapaikkauksia kunnostamalla päällyste 4 cm:n AB-laattalla. Alle 10 cm:n kokonaispaksuudella massatasaus (menekki vaihtelee arvioidun epätasaisuuden mukaan), yli 10 cm:n paksuudella jyrshintätasaus.

Lähtötilanne:

- Tieosuuden pituus 10 km, päällysteen leveys 7,5 m
- Mitoitus-KVL = 2500, raskaita ajoneuvoja = 200
- $KKL_{20v} = 1,2 \cdot 10^6$
- Hintataso: 1989, reaalikorko 6 %

Mitoitusrakenne:

4 cm	AB	tai	4 cm	AB
5 cm	AB		6 cm	BS

Yksikkökustannukset:

- 5 cm AB, ei tasausta 150 000 mk/km
- 6 cm BS 160 000 "
- TAS/30 + 4 cm AB 155 000 "
- TAS/50 + 4 cm AB 175 000 "
- 2 cm JYR + 4 cm AB 155 000 "
- (- 2 cm tasausjyrshintä 40 000 ")

Kestoiät (uusimiskriteerinä urasyvyys):

- BS 2 v
- AB-laatta 10 v

Ylimääräiset aikaustannukset: Ei huomioon, koska niiden erot jäävät pieniksi (toimenpiteitäkin eri vaihtoehtoissa yhtä monta).

Vaihtoehto A (nopea vaiherakentaminen):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Pääll.kust. mk/km</u>	<u>Kokon.paksuus</u>
0	5 cm AB	150 000 --> 150 000	5 cm
1	pain. korj. + 4 cm AB	155 000 --> 146 000	9 cm
11	TAS/50 + 4 cm AB	175 000 --> 92 000	13 cm
21	JYR + 4 cm AB	155 000 --> 46 000	15 cm
(31	Tasausjyrshintä)		
		Yht. 434 000 mk/km	

Vaihtoehto B (hidas vaiherakentaminen = Raksu 1985 ja TVL-U):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Pääll.kust. mk/km</u>	<u>Kokon.paksuus</u>
0	5 cm AB	150 000 --> 150 000	5 cm
6	TAS/50 + 4 cm AB	175 000 --> 123 000	9 cm
16	TAS/50 + 4 cm AB	175 000 --> 69 000	13 cm
26	JYR + 4 cm AB	155 000 --> 34 000	15 cm
(36	Tasausjyrshintä)		
		Yht. 376 000 mk/km	

Vaihtoehto C (BS-rakenne, keskinopea ajoitus):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Pääll.kust. mk/km</u>	<u>Kokon.paksuus</u>
0	6 cm BS	160 000 --> 160 000	6 cm
2	pain. korj. + 4 cm AB	155 000 --> 138 000	10 cm
12	TAS/50 + 4 cm AB	175 000 --> 87 000	14 cm
22	JYR + 4 cm AB	155 000 --> 43 000	16 cm
(32	Tasausjyrshintä)		
		Yht. 428 000 mk/km	

Tarkasteluaika on 21 - 26 vuotta. Pituus tasataan taas samaksi siten, että Ve. A:han lisätään 5/10 seuraavan toimenpiteen kustannuksista, diskonttaamalla ne ensin vuodesta 31 vuoteen 26. Tästä kertyy vuodelle 0 nykyarvoa n. 3300 mk/km. Vastaavasti on vaihtoehtoon C lisättävä aikaerokustannuksia n. 2500 mk/km.

Suhteelliset kustannukset eri vaihtoehtoilla ovat seuraavat:

Ve. A (nopea ajoitus): 100
 Ve. B (hidas): 86
 Ve. C (BS, keskinopea): 98

Kommentteja ja jatkotarkasteluja:

1. Hidas vaiherakentaminen tulee tämänkin esimerkin mukaan selvästi halvimmaksi, vaikka itse toimenpiteitä on 21-26 vuoden aikana yhtä monta. Näin käy aina, jos nopeasta ajoituksesta ei voida osoittaa koituvan hyötyä pienempinä kunnossapito- tai ajokustannuksina.

2. Riskit: normaaliolosuhteissa (= koko tie normien ym. ohjeiden mukaan rakennettuna) päällyste kestää kussakin vaihtoehdossa tarpeeksi ehjänä seuraavaan vaiheeseen asti. Jos alusta kuitenkin pettäisi kantavuudeltaan, vaurioitumisriski olisi suurin vaihtoehtoon B vuosina 4-6. Vaikka tämän todennäköisyys on pieni, I päällysteen kuntoa on syytä seurata 3. vuodesta eteenpäin ja tarvittaessa varhentaa II päällystekerroksen toteutusta.

3. Mahdollinen laatuero liikenteen kannalta (ajettavuusero) voisi myös tulla kysymykseen vaihtoehtoon B vuosina 2-5. Ve. B olisi tällöin epätasaisempi, mikä tuo epämukavuutta ja periaatteessa suurentaa myös ajoneuvo- ja aikakustannuksia. Tämä ero kompensoitunee kuitenkin vuosina 7-10, jolloin Ve. A on epätasaisempi, koska vuonna 1 tehty II päällyste on alttiimpi painumaan kuin vuonna 6 tehty II päällyste.

Pinnan karkeudessa on pieni ero Ve. B:n hyväksi: jos tarkastelujaksena on 20 vuotta, on ylimmän kerroksen keski-ikä Ve. B:llä = 3,5 vuotta, kun se on Ve. A:lla = 4,5 vuotta ja Ve. C:llä = 4,1 v. Jos tarkastelujaksena on 30 vuotta, keski-ikä ovat vastaavasti: B = 3,8 v, A = 4,5 v, C = 4,2 v. Tällä erolla ei liene suurta merkitystä, mutta se kuvaa hitaan vaiherakentamisen olennaista piirrettä: toimenpiteiden jakamista ajallisesti mahdollisimman tasan, jolloin ajettavuus säilyy mahdollisimman hyvänä.

4. Bitumin mahd. hinnanmuutokset: ks. s. 36 kohta 3. - Toinen spekuloitava seikka on mahdollinen tekniikan kehittyminen tuotamaan entistä kestävämpiä päällysteitä. Tämä puhuu periaatteessa hitaan vaiherakentamisen puolesta, jos "lykätty" päällyste on samanhintainen mutta laadultaan parempi.

Jos kulutuskestävyys ja myös stabiilisuus paranisivat kauttaaltaan niin, että jokaisen vaihtoehtoon väliajat voitaisiin alusta alkaen pidentää 1 vuodella, olisivat suhteelliset kustannukset kutakuinkin ennallaan eli seuraavat:

Ve. A (nopea ajoitus): 100
 Ve. B (hidas): 87
 Ve. C (BS, keskinopea): 99

Päällysteen kustannukset koko tarkastelujaksolla alentuisivat kaikilla vaihtoehtoilla 20 000 - 30 000 mk/km eli melko vähän verrattuna nopean ja hitaan vaiherakentamisen väliseen kustannuseroon (yllä = vajaa 60 000 mk/km). Oikean ajoituksen valinta on siten erittäin hyödyllinen tavoite.

5 PÄÄLLYSTEIDEN VAIHERAKENTAMINEN ULKOMAILLA

Ulkomailla ei rakentaminen vaiheittain ole päässyt suunnitteluohjeisiin asti yhtä laajasti kuin Suomessa, vaikka päällystekerrosten yhteispaksuus olisi selvästi suurempikin. Syynä on ainakin osittain se, että urakulumat ja maaperän homogeenisuuden ansiosta myös alkuvuosien painumat ovat pienempiä ja vaativat vähemmän vastakeinoja kuin meillä. "Työnjako" eri kerrosten välillä on myös jo perinteisesti selkeämpi; esim. Saksassa pidetään väliaikaistakin liikennöimistä kantavan kerroksen päällä erikoistapauksena /19/.

Niukan vaiherakentamiskäytännön ulkopuolella on kuitenkin jonkin verran kannanottoja ja mielenkiintoa asiaa kohtaan. Seuraavassa selostetaan suppeasti näitä ulkomaisia näkökohtia.

Ruotsi:

Normi BYA 84 /20/ sallii bitumisoran päällä liikennöimisen enintään 8 kk:n ajan, kunhan sideainepitoisuutta lisätään 0,3 %-yksikköä. Siten syys-lokakuussa tehty BS voisi talvehtia seuraavaan touko-kesäkuuhun asti, mutta aikaisemmin kesällä tehty BS täytyisi peittää AB:llä vielä samana kesä kautena. - BYA:ssa ei esitetä enempää vaiherakentamisesta.

AB Vägförbättringar-yhtiön mainosjulkaisussa /21/ puolestaan suositellaan vaiherakentamista siten että BS:ää voidaan käyttää 1-2 vuotta ennen tasausta ja AB-kerrosta.

Ruotsin tielaitokselle osoitettiin myös TVH/Skk:n nimissä esimerkein valaistusta kysely, johon vastasi 21.12.1989 Rolf Magnusson (VBv). Vastauksen pääkohdat ovat seuraavat:

1. Vaiheittain rakentaminen ei ole yleistä Ruotsissa. BS:ää on kuitenkin yksittäistapauksissa liikennöity ≤ 1 vuoden ajan.

2. Syynä niukkaan suosioon ovat seuraavat näkökohdat:

- BS kuluu nopeasti, mikä voi johtaa murtumiin asti. Riskiä suurentaa vielä BS:n lajittumisherkkyys ja sen kiviaineksen pienempi lujuus.

- BS:n tyhjätila (5-10 %) on niin suuri, että se päästää pintavesiä lävitseen, mikä heikentää sitomattomien kerrosten kantavuutta.

- Ohuen päällysteen alapuolinen sitomaton kantava kerros voi hienontua raskaan liikenteen vaikutuksesta.

- Taloudellisuutta heikentää, jos vaiheittain rakennettu tie vaurioituu yhtenäisesti rakennettua nopeammin.

3. Kysymys: kuinka kauan enintään saisi liikennöidä 1-kerroksesta AB-tietä, jotta päällyste kelpaisi vielä kantavaksi kerrokseksi, jos raskaita ajoneuvoja/vrk on a) 100, b) 300?

Vastaus: sekä a) että b): 10-15 vuotta, jos tien kantavuus on hyvä ja päällyste on onnistunut normaalisti.

Kommentti (EL): Ruotsin käytäntö vastaa BS:n osalta (0-1 v) Suomen Raksu-ohjeita, mutta on ajan "venyttämiseen" nähden Suomen käytäntöä varovaisempi. Useampana AB-kerroksena tehtävän päällysteen ajoitus on ilmeisesti Suomen ohjeita nopeampi.

Näyttää siltä kuin vaiheittain rakentamisen taloudellisuutta (ja päällysteen laatua eri vaiheissa) ei olisi yksityiskohtaisesti pohdittu. Omia selvityksiä ei Ruotsissa tiettävästi ole tekeillä, mutta Suomen ajoitusmalleja ja kannanottoja pidettiin kyllä kiinnostavina.

Norja: Käsikirja Vegbygging, Håndbok 018 (1980) mainitsee vaiherakentamisesta s. 215: "Jos on odotettavissa painumia tai jälki-
tiivistymistä, ylin kerros levitetään vasta jonkin ajan, esim. 1 vuoden liikennöinnin jälkeen".

Rakenteen parantamistöissä voidaan samoin liikennöidä väliaikaisella päällysteellä, kuten IS:llä tai BS:llä, jonka bitumipitoisuutta on hiukan nostettu.

Länsi-Saksa:

Mitoitusnormit /19/ tai asfalttinormitkaan eivät käsittele lainkaan varsinaista vaiherakentamista. Asiaa ovat toisaalla tarkastelleet ainakin liittovaltion tietutkimuslaitoksen (BAST) johtaja NAKKEL /22/ sekä vanha Shellin tutkija DEMPWOLFF /23/, molemmat suosittalevaan sävyyn. Nakkel toteaa menettelyn mahdolliseksi, koska jo I vaihe raskaimmassa tieluokassa vastaa valmistusta tietä keskiraskaassa luokassa. Vaikeutena on mm. liikenteen ja sään rasittaman kerroksen lujuusopillinen arviointi, kun väsymisen vastapainona päällysteen jäykkyys ajan mittaan kasvaa.

Dempwolff /23/ pitää vaiherakentamista osana tierakenteen taloudellista optimointia ja toivoo Saksassa hyödynnettävän sitä tuolloista käytäntöä (1975) enemmän. Hän korostaa asfalttikerrosten olevan kestävämpiä (*wirksamer*) kuin laskelmissa yleensä otetaan huomioon. Tämä "kestävyysreservi" saadaan varmemmin käyttöön vaiherakentamisella kuin yhtenäisrakentamisella, samalla kun lyhyemmät päällystysvälit parantavat tien ajettavuutta.

Kommentti (EL): Se, että lehtiartikkeleissa tavataan vain vaiherakentamista puoltavia kannanottoja, johtunee vaiherakentamisen sisältämien etujen lisäksi siitä, että koko asia on uusi. Sellaista mitä ei ole, ei voida myöskään kritikoida.

Englanti:

Englannin uusissa, v:n 1987 normeissa /24/ tarkastelu-aika on kaikkiaan 40 vuotta, mikä jo sellaisenaan edellyttää jonkinlaista vaihteittain rakentamista. Tämä toteutuu asfalttipäällysteillä siten, että tie mitoitetaan 20 vuodeksi, minkä jälkeen tielle on tarkoitus tehdä pääasiassa taipumamittauksista riippuva vahvistus. - Varsinaista mitoitettujen kerrosten vaiherakentamista muutaman vuoden aikana suomalaisen tapaan ei Englannissa nähtävästi tavata, vaikka päällysteen kokonaispaksuus on varsin suuri. Esim. liikennemäärällä 1000 raskasta ajon/vrk paksuus on = 33 cm (kantavan kerroksen sidottu alaosa = 23 cm, kantavan kerroksen yläosa = 6 cm, kulutuskerros = 4 cm).

Aikaisemmin ovat THROWER ja BURT /25/ tarkastelleet vaiherakentamisen kannattavuutta eri vauriokriteerein ja ajoituksin. Jos I vaiheen lopussa ei tavata lainkaan rakennevaurioita, on 2-vaiheinen rakentaminen teoriassa n. 13-22 % halvempaa kuin yhtenäisrakentaminen (korkokantana 8 %). Säästöä suurentavat:

- tarkasteluajan pidentyminen (40 v > 20 v)
- I vaiheen pidentyminen; ei kuitenkaan yli 7-10 vuoden silloinkaan kun tarkastelu-aikana on 40 vuotta.

Laskelmissa ovat mukana myös aikakustannukset, pientareiden nosto yms. seikat.

Uudempi ABELLin tutkielma /16/ vertailee yhtenäisrakentamista 2-4 vaiheen rakentamiseen, korkokantana 7-9 %. Jos mitoitusaika on alle 20 vuotta, yhtenäisrakentaminen osoittautuu edullisimmaksi ja jos mitoitusaika (tarkastelu-aika) on 20-40 vuotta, 2 vaihetta tuottaa optimin. Tällöin I vaiheen tulisi kestää ainakin 15 vuotta.

Edellisestä poikkeavasti yhtenäisrakentamista pitkälle puoltava tulos aiheutuu mitoitusotaksumista, joiden mukaan lopulli-

nen rakennepaksaus muodostuu vaiheittain rakennettaessa suuremmaksi kuin yhtenäisrakentamisessa. Korkosäästöt kompensoivat tätä lisäpaksuutta vain rajoitetusti.

Kommentti (EL): Kun päällysteen kulumista tai alkuvuosien painumiakaan ei ole tarvinnut ottaa huomioon vaiherakentamista puoltavina seikkoina, Englannin tarkastelut ovat melko kaukana Suomen tilanteesta. Tutkimukset keskittyvät spekulatioihin väsymisestä ja kannattavuus riippuu lähinnä siitä, onko vaiheittainen kokonaispaksaus suurempi kuin yhtenäisrakentamisessa.

USA:

Asphalt Institutin ohjeissa /17/ suositellaan 2-vaiheista rakentamista ja sen etuina mainitaan mm. alkuvuosien painumien korjaaminen. Myös viitataan AASHO-kokeeseen, jonka mukaan vaiheittaisrakenne suoriutui kaikkiaan jonkin verran paremmin kuin saman paksuinen yhtenäisrakenne.

Sopivana I vaiheen pituutena pidetään 25-50 % koko mitoitusajasta eli 20 vuodesta 5-10 vuotta. Itse mitoitus perustuu otaksumaan I vaiheen 60-%:sesta käyttöasteesta ja se määrää kummankin vaiheen tarpeellisen paksuuden. Kokonaispaksaus muodostuu hiukan suuremmaksi kuin yhtenäisrakentamisessa, joskin välttämättömät pintaukset tasoittavat tilannetta.

Kommentti (EL): AI:nkin vaiherakentaminen vastaa vain osaksi Suomen tilannetta, meillä kun pääkysymys on se, millä aikataululla edetään tiettyyn vakio-mitoituspaksuuteen. AI:n ohje ei tunne - asfaltin maksimaalista käyttöä suosivan luonteensa mukaisesti - lainkaan varsinaista 1-kerroksista päällystettä. Sitomattomalle alustalle suositellaan seuraavia vähimmäispaksuuksia, jotka siten edellytetään tehtävän yhtäjaksoisesti:

<u>Kuormituskertaluku</u>		<u>AB:n vähimmäispaksuus</u>
<u>80 kN:n akseleina</u>	<u>(100 kN:n akseleina)</u>	
< 10 ⁴	(< 0,4 · 10 ⁴)	7,5 cm
10 ⁴ ...10 ⁶	(0,4 · 10 ⁴ ...4 · 10 ⁵)	10,0 cm
> 10 ⁶	(> 4 · 10 ⁵)	12,5 cm

Muut maat:

PIARCin raporteissa 4-vuotiskausittain ei yleensä puhuta vaiherakentamisesta. Poikkeuksena on v:n 1979 kongressi /26/, jolloin luetellaan päällysrakenteen vaiherakentamista soveltavina maina Australia, Belgia, Suomi, Kanada, Intia, Portugal ja Ruotsi eli 1/3 niistä maista (yht. 21), jotka vastasivat alakysymykseen rakennesuunnittelun optimoinnista. Tämä on ehkä enemmän kuin mitä tätä nykyä (1989) on muuten arvioitavissa vaiherakentamisen yleisyydestä. Esim. Ruotsi esiintyi 1979 vaiherakentajana Stina-projektin kautta, mutta Ruotsin VoV:n vastaus tämän muistion kyselyyn 1989 (s. 39) oli lähinnä kielteinen. Silti vaiherakentamisella ja sen osakysymyksillä on edelleen huomattava kansainvälinenkin laajuus.

6 VAIHERAKENTAMISEN ERILLISKYSYMYKSIÄ

6.1 Bitumisoran kantavuuden säilyminen, jos sitä käytetään kulutuskerroksena

Missä määrin BS:n käyttö kulutuskerroksena heikentää sitä verrattuna siihen, että vastaava BS-kerros olisi AB:n alla "suojassa"? Tarkastelukriteerejä ovat lähinnä seuraavat:

- BS:n kulumisen verrattuna AB:n kulumiseen; mikä on tasausmassasta aiheutuvan epästabiiliuden merkitys
- jos kulutuskestävyyttä parannetaan suhteittamalla BS:ään lisää hienainesta ja sideainetta, alentaako tämä BS:n stabiiliutta
- BS:n sideaineen vanheneminen tien pinnassa: vaikuttaako se myöhempään kimmoisuuteen (jäykkyysmoduliin), stabiiliuteen (esim. Marshall-lujuuteen) tai väsymiskestävyyteen
- onko muista BS:n pintavaurioista (halkeamat, purkaumat) haittaa myöhemmälle käytölle kantavana kerroksena?

Kaikkiaan BS:n ominaisuuksia on sekä Suomessa että ulkomailla tutkittu vain vähän, verrattuna AB:hen. Seuraavassa esitetään eräitä yleistietoja yllä luetelluista kysymyksistä.

Bitumisoran kulumisen ja tasausmassan käytön seuraukset: BS:n suuri maksimiraekoko ei paranna sen kulutuskestävyyttä yhtä paljon kuin alhainen hienoaines- ja sideainepitoisuus sitä huonontavat. Lisäksi kiviaineksen alemmat laatuvaatimukset ja päällysteen alttius purkaumiin tekevät epäsuotuisissa oloissa mahdolliseksi jopa 2-3 kertaa nopeamman urakulumisen kuin AB:llä, vrt. Mäntsälän ohikulkutie s. 21-22.

Kun I kerroksena olevaa BS:ää ei voi tasata jyrsimällä, se tasataan avoimella massalla, jonka maksimiraekoko on 8...16 mm. Uratausauksen paksuus on silloin $\geq 10-20$ mm ja ääritapauksissa 40-50 mm, jos tasaus vedetään koko ajoradalle ja keskimenekki lähentelee 100 kg:aa/m². Näin paksu epästabiili kerros on varmasti epäsuotuisa, etenkin jos liimaus ei liitä kerroksia lujasti yhteen (vrt. /27/). Toisaalta minimipaksuinen ja paikoittainen, runsaan 10 mm:n tasauskerros BS:n ja 4-5 cm:n AB-laatan välissä tuskin lisää havaittavasti rakenteen vaurioita tai deformaatioita, jos AB-kerros on asianmukainen; tasauskerroshan ei esim. altistu kesäajan lämpötiloille.

Tasausmassan deformatumisalttiuteen voidaan vaikuttaa erityisesti pitämällä massaseoksen täyttöaste (= sideaineen täyttämä osa

kiviaineksen tyhjätilasta) suhteellisen pienenä. Asphalt Institute /28/ suosittelee sidekerrosten ja kantavien kerrosten täyttöasteeksi 65 - 72 %. Kun sopivaan täyttöasteeseen ei päästä esim. pienentämällä umpimähkään normien mukaisia bitumipitoituuksia, edellyttäisi ainakin vaativien kohteiden tasausmassan suunnittelu laboratorio-suhteitusta.

Tasausmassan eri lajien kriittinen paksuus etenkin urien kohdalla kaipaa teoreettista selvittelyä ja kokeita.

BS:n kulutuskestävyyden parantamisen sivuvaikutukset: Kulutuskestävyyttä parantava sideainelisyys heikentää stabiiliutta, mutta heikentyminen voidaan pääosin torjua lisäämällä massaan täytejauhetta. Eräs tutkimustulos on /29/, että painosuhteen täytejauhe/bitumi tulisi olla vähintään 1,5. Tällöin siis hienoainesprosenttia ($< 0,074$ mm) pitäisi nostaa täytejauheen avulla hiukan enemmän kuin sideaineprosenttia, jotta stabiilius pysyisi vakiona.

Koetulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia /30/, mikä todennäköisesti johtuu täytejauheiden erilaisista ominaisuuksista /31/. Laboratoriosuhteituksella lienee epävarmuus voitettavissa, jolloin siis 1-2 vuoden aikana tarvittava BS:n kulutuskestävyyden parannus ei lisää sen alttiutta deformatumiseen.

BS:n sideaineen vanheneminen: Sideaineen vanhenemismekanismeista on merkitystä lähinnä kemiallisella hapettumisella ja fysikaalisella haihtumisella. Kummastakin tapahtuu pääosa massan sekoituksen yhteydessä siten, että jo muutamassa sekuntissa haihtuvat kuumasta bitumikalvosta kevyimmät komponentit, minkä jälkeen bitumi vanhenee hapettumalla.

Valmiissa päällysteessä on merkitystä enää hapettumisella, jota kuitenkin tapahtuu sekä pinnassa että päällysteen sisällä. Tyhjätilan vaikutus koko kerroksen vanhenemiseen näyttää olevan tuntuvampi kuin pintahapettumisen osuus /32/, etenkin kun BS:n tyhjätila on suurehko ja pintalämpötilat eivät Suomessa ole pitkiä aikoja korkeita. Tästä seuraa edelleen, että vanhenemisen kannalta ei ole kovin olennaista, sijaitseeko BS-kerros tien pinnalla vai AB-laatan alla. Sijaintiero on vähämerkityksinen verrattuna esim. sekoituslämpötiloihin ja jo sitä ennen tehtyyn bitumilajin valintaan.

Oma kysymyksensä on bitumisoran vanhenemisen haitallisuus. Vaikutushan on kaksitahoinen: koveneminen lisää välitöntä kantavuutta (E-modulia) ja stabiiliutta (Marshall-lujuutta), mutta edistää samalla haurautta, mikä heikentää väsymislujuutta. Epäedullisin on tilanne heikolla alustalla, jos BS-kerros ei kestä muodonmuutoksia vaan halkeilee, mikä pienentää todellista kantavuutta enemmän kuin sideaineen koveneminen sitä lisää. - Valmiin päällysteen vanhenemisen määrä on kuitenkin varsin pieni verrattuna muihin sen laatuun vaikuttaviin tekijöihin (massan raaka-aineet, työn laatu, päällysteen kuluminen). Kun vaiherakentamisessa on kysymys BS:n altistamisesta pintahapettumiselle enintään 1-2 (3) vuodeksi, on ilmeistä, että näin lyhyt aika ei ehdi vanhentaa BS:ää mainittavan haitallisesti, verrattuna tilanteeseen, jossa BS on suojassa AB-laatan alla.

Bitumisoran pintavauriot: Kulumisen ja vanhenemisen lisäksi bitumisora voi poikkeuksellisesti vaurioitua erilaisin halkeamin tai se voi alkaa purkautua. Vika on koko rakenteen kantavuudessa tai BS-kerroksen huonossa laadussa eikä kumpaakaan saisi vaiherakentamisessa tietenkään esiintyä. Jos vaurioita kuitenkin tavataan, ne korjataan (peitetään) tasauksen yhteydessä tai joskus etukäteen.

BS-alustan halkeamien jatkuminen AB-laatatassa ei ole erityinen ongelma muualla paitsi selvien verkkohalkeamien kohdalla, jos routaa ei tarvitse ottaa lukuun. Alustan viivahalkeamien heijastuminen ylempään kerrokseen hidastuu amerikkalaisen yhteenvedon /33/ mukaan olennaisesti mm. seuraavin ehdoin:

- ylempään kerroksen bitumi on B-200:a tai sitä pehmeämpää (ristiriidassa kulutuskestävyyden ja stabiiliustavoitteiden kanssa)
- ylempi kerros on yli 5 cm paksu (suomalainen käytäntö ylittää tähän vain tasausmassan kanssa).

Kaikkiaan BS:n halkeamavauriot ovat esim. kulumiseen verrattuna vähämerkityksinen tekijä vaiherakentamisessa, koska BS ehdistii näkyviin vaurioihin vain harvoin eivätkä yksittäishalkeamat vielä vähennä koko BS-rakenteen arvoa kantavana kerroksena.

Yhteenvedona voidaan todeta, että bitumisoran käyttöön kulutuskerroksena liittyvät riskit ovat varsin pienet, jos käyttö kestää vain 1-2 vuoden ajan, jolloin väsymislujuudestakin "käytetään" vain turvallisen pieni osa. Huomattavin ja samalla epäselvin kysymys on deformaatioalttiuden lisääntyminen, jos tasausmassaa levitetään runsaasti. Tasausmassan stabiiliutta voidaan kuitenkin parantaa ja samaan aikaan välttää sen liiallista käyttöä.

6.2 Epätavallisten rakennetyyppien merkitys päällysteen vaiherakentamiselle

Tähänastiset Suomen olosuhteiden vaiherakentamistarkastelut ovat koskeneet tavanomaista tierakennetta, jossa kantava kerros tehdään sitomattomasta murskeesta ja jakava kerros sorasta tai murskeesta. Seuraavassa pohditaan, aiheutuuko muista rakennetyypeistä muutoksia vaiherakentamisen ajoitukseen. Näitä rakenteita ovat:

- imeytyssepellys (sekä bitumistabilointi)
- maabetoni
- louherakenne
- paksu routamitoitettu rakenne.

Imeytyssepellys. Raksu-ohjeissa /5/ todetaan IS-vaihtoehdon suosivan vaiherakentamista siten, että päällystämistä voidaan lykätä 1 vuosi (lk:t 1 AB - 3 AB), 2 vuotta (4 AB) tai useita vuosia (5 AB, 6 AB). Lisäehtona lykkäämiselle on, että IS:n päälle tehdään sirotepintausta tasaisuuden ja kulutuskestävyyden parantamiseksi. Taustana on luonnollisesti se, että IS korvaa sitomatonta kantavaa kerrosta, jonka päälle ei liikennettä päästetä yleensä lainkaan.

Raksu-ohjeen lykkäysaikoja (paksun päällysteen rakenteilla siis enintään 1 vuosi) voidaan pitää teknisesti tarkoituksenmukaisina, koska (IS + SIP):n päälle tehtävä massatasaus tulee syvemmälle kuin tavanomaisessa rakenteessa, jossa TAS tulee vasta BS:n päälle. Tämä pienentää osaltaan deformatiivisriskiä. Yhden vuoden liikennöimis-aika on myös väsymisen ja kulumisen kannalta 1960-luvun kokemusten mukaan tarpeeksi varovainen. Uusia havaintoja silti kaivataan.

Varsinaista säästöä ei (IS + SIP):n liikennöimisestä juuri kerry, koska SIPin kustannus (3-4 mk/m²) kutakuinkin eliminoi varsinaisten päällystekerrosten myöhentämisestä koituvan korkohyödyn. Tarkat kustannussuhteet määräytyvät osaltaan tasausmassan menekistä (tai jyrsintäsyvyydestä) eri BS- ja AB-kerroksia tehtäessä.

Itse päällystekerrosten vaiherakentamisen kannalta IS on periaatteessa myönteinen valinta, koska sen avulla päästään varmemmin kantavan kerroksen tavoitekantavuuteen (180 MN/m²) kuin sitomattomalla murskeella. Tällöin mahdollisuus vaiheittain rakennettavien päällystekerrosten ennenaikaiseen vaurioitumiseen pienentyy vielä entisestään. Ajoitusohjeita ei kuitenkaan liene syytä väljentää, mutta rajatapaukset voidaan tulkita IS-vaihtoehdon hyväksi.

Bitumistabiloinnit (vaahtobitumi- ja bitumiemulsiostabilointi) /34/ tulevat kysymykseen lähinnä vanhojen teiden parantamisessa, mutta myös vilkasliikenteisten uusien teiden rakennevaihtoehtoina, jos lujitettava materiaali tuodaan ensin kohteeseen. Koeteillä on ollut suuri kantavuuden hajonta /35/ ja epäonnistumisiakin (eräät v:n 1989 osuudet), mutta periaatteessa bitumistabilointi tuottaa joustavan ja ohuellekin päällysteelle soveltuvan kantavan kerroksen. Vaiherakentamisessa bitumistabiloinnit sallisivat siksi ajoituksen pienen väljentämisen imeytyssepellyksen tavoin.

Maabetoni. Raksu-ohjeen täydennysmuistiossa TVH/Skk 16.5.1989 on maabetonin alustan tavoitekantavuutta ja Mb:n kerrospaksuutta hiukan nostettu, mutta päällysteen ajoitusohjeet ovat ennallaan. Heijastushalkeamien syntymisriski on kuitenkin Mb-alustalla paljon suurempi kuin BS- tai IS-alustalla, mistä syystä monissa maissa vaaditaan Mb:n päälle tehtäviltä asfalttikerroksilta 10-20 cm:n vähimmäispaksuus /36/. Saksan normeissa /19/ on vähimmäispaksuutena 12 cm, paitsi kaikkein vähäliikenteisimmässä tieluokassa 8 cm.

Ylipaksu asfaltti tuo ylisuuren kantavuuden ja tuhoaa samalla maabetonin kilpailukyvyn. Tämänkin vuoksi on Suomessa tarpeen saada lisää havaintotuloksia Mb:n ala- ja yläpuolisesta mitoituksista (ASTO-koetie vt 6:lla ym.). On mahdollista, että päällysteen vaiherakentamista on Mb:n yhteydessä nopeutettava siten, että rakenne-
luokan 1 AB lisäksi myös luokassa 2 AB tehdään I ja II päällystekerros (yhteensä 10 cm) jo liikenteelle avaamisen vuonna 0 ja rakenne-
luokassa 3 AB tehtäisiin II kerros selvästi nykyistä ohjetta (6-8 v) aikaisemmin.

Louherakenne. Louherakennetta luonnehtii yleensä hyvä tai jopa ylisuuri kantavuus sekä toisaalta huolellisen kiilauksen tarve paikallisten valumiskuoppien välttämiseksi. Routanousut voivat myös jäädä pysyviksi, mistä Raksu-ohjeessakin /5/ varoitetaan.

Kaikki yllä mainitut seikat puoltavat päällysteen rakentamista vaiheittain. Louherakenteen päällä ei ole erityistä kiirettä nostaa kantavuutta ja samalla voi alkuvuosina syntyä odottamattomiakin epätasaisuuksia sekä kiilausaineksen tiivistymisenä että lohkaraiden routanousuina. Näin vaiherakentamisen tasaisuutta parantavat edut korostuvat. Samaan suuntaan vaikuttaa vielä kiilauksen päälle mahdollisesti tehtävä imeytyssepellys, joka tarvittaessa pidentää koko päällysrakenteen yhteenlaskettua ajoitusta.

Itse päällysteen ajoitusohje saanee louherakenteellakin olla sama kuin muuten, mutta rajatapaukset voidaan taas tulkita hitaamman ajoitusvaihtoehdon hyväksi.

Paksu routamitoitettu rakenne. Paksu routamitoitus antaa vaikeissa routaolosuhteissa varman, joskin yleensä kalliin suojan routimista vastaan. Tie pitäisi tällöin suunnitella muissakin suhteissa korkealuokkaiseksi.

Vaiherakentamisessa ei tässä tapauksessa tarvitse ottaa huomioon epätasaisia routanousuja, joten vaiherakentamiseen on hiukan vähemmän tarvetta kuin enemmän roudanaralla rakenteella. Jälkikiivistymisen ja päällysteen virheiden mahdollisuus on silti olemassa.

Ajoitusohjeeksi soveltuu paksulle routamitoitetulle rakenteelle siten sama kuin tavanomaisellekin rakenteelle.

6.3 Akselipainojen korotuksen vaikutus vaiherakentamiseen

Ovatko v:n 1985 vaiherakentamishjeet /5/ liikennekuormituksen osalta edelleen pätevät, kun sallitut ajoneuvopainot ovat huomattavasti nousseet 1990?

Kuormituksen kasvu - arviot ja todellisuus. Sallittuja akseli- ja telipainoja nostettiin tuntuvasti 1.1.1990 alkaen (asetus 850/87) ja pieneltä osin 1.1.1991 (as. 848/89) sekä 1.1.1992 alkaen (as. 850/87). Näiden muutosten vaikutusta tiestön kuormittumiseen ja tiekustannuksiin on ennakoitu TVH:n tiensuunnitteluosaston muistiossa 31.8.1987, joka puolestaan perustui Ins. tsto Eero Lehtipuun laskelmiin eri korotusvaihtoehtojen vaikutuksesta (31.1.1985, 1.4.1985, 2.3.1987). Tausta-aineistona olivat tuolloin lähinnä TVH:n akselipainotutkimukset 1976-1982-1984-1986.

TVH:n muistiossa 31.8.1987 arvioitiin akselipainojen korotuksen suurentavan koko yleisen tiestön kuormitusta (KKL:ää) keskimäärin n. 25 %. Muistiossa otaksutut akselipainot poikkeavat sittemmin annetusta asetuksesta varsinaisesti vain siinä, että mukana ei ole ulkomaan liikenteessä sallittua 11,5 tonnin pari-pyöräakselia. Tämä huomioon ottaen olisi korotusten aiheuttama lisäys koko tiestön kuormitukseen n. 27 %. Pääteillä (vt + kt) koko kuormituslisäys olisi suurin, likimain 35 %.

V:n 1987 laskelmat perustuvat tienpitäjän kannalta pessimistiseen käsitykseen tierasituksen kehittymisestä: kuljetukset siirtyvät yhä enemmän raskaimpiin ajoneuvotyyppisiin ilman,

että ajoneuvojen lukumäärä (KVL) tästä syystä pienentyy, rengaspaineet nousevat ja - kaikkein tärkeimpänä seikkana - ylikuormia ei saada kuriin v:n 1986 tilannetta paremmin. EL:n muistiossa 2.3.1987 todetaan, että jos edes suuret ylikuormat (= kulloinkin painoraja + 10 %) pienentyisivät sallitun rajan tienoille, tämä ei ainoastaan eliminoisi korotuksen tuomaa lisäkuormitusta vaan pienentäisi kokonaiskuormituksen alle sen, mikä olisi tilanne ilman painorajojen korotuksia.

Vastoin pessimistisiä ennusteita tilanne onkin kehittynyt ylikuormien osalta suotuisasti siten, että suuria ylikuormia ei tiettävästi enää juuri tavata. Tähän on vaikuttanut itse painorajojen korotuksen lisäksi seuraavat kolme seikkaa:

- tilavuuspainoihin perustuvan mittaustavan (as.632/82) kumoaminen ja siirtyminen painomittauksiin 1.1.1990 (941/89)
- 10 %:n ylitystoleranssin (233/82) alentaminen ensin 5 %:iin (1008/86) ja kumoaminen kokonaan 1.1.1990 alkaen (850/87)
- ylikuormamaksulain (51/82) tuntuva kiristäminen 1.4.1989 alkaen (1/89).

Eniten vaikutusta lienee mittaustavan muuttamisella /37/. Se koskee n. 40 %:a koko maan tavarankuljetussuoritteesta /38/. Suomen Kuorma-autoliitto arvioi puolestaan tiekuormituksen keskimääräiskasvuksi n. 11-12 % /39/. - Keskustelussa os.pääll. Markku Maukosen kanssa 16.2.1990 todettiin, että lopullista kuormitustason nousua ei voida toistaiseksi arvioida tarkemmin kuin että se sijainnee välillä 0-30 % verrattuna tilanteeseen, jossa ajoneuvojen painoasetusta ei olisi muutettu. Jos ylikuormat onnistutetaan ehkäisemään lähes kokonaan, yhteisvaikutus muuttuukin kuormituslisäyksen sijasta pieneksi kuormituksen vähenykseksi.

Lisäkuormituksen merkitys vaiherakentamiselle. Jos tien kuormitus nousee 30 %, se merkitsee, että KKL kasvaa 20 vuoden aikana esim. arvosta 10^6 arvoon $1,3 \cdot 10^6$. Uusi tie sijoittuisi kummassakin tapauksessa rakenneluokkaan 3 AB. Suuremmilla kuormituksilla (KKL = $1,6 \cdot 10^6 \dots 2,0 \cdot 10^6$) luokka 3 AB nousisi 2 AB:ksi.

Jos noudatetaan Raksu 1985:n ajoneuvotyyppien vastaavuuskertoimia ja niiden perusteella laskettua KKL:ää, on tehtävä mitoitusdiagrammien (kuvat 51:1 ja 52:2) pystyviivojen "siirto" vasemmalle siten, että luokkien 1 AB ja 2 AB KKL-rajaksi tulisi nykyisen $5 \cdot 10^6$ sijaan arvo $3,8 \cdot 10^6$ jne. (Tällaista väliaikaismenettelyä on noudatettu Ruotsissa, jossa BYA 84:n mitoitusohje on saatettu nousseiden akseli-painojen tasalle täydennysohjeella BYA 2/87, jossa raskaiden ajoneuvojen KVL:ää pienennetään kussakin rakenneluokassa.)

Pysyvä - ja periaatteessa oikeampi - muutosmenettely on se, jossa nostetaan eri ajoneuvotyyppien vastaavuuskertoimia ja pidetään mi-

toitusdiagrammit ennallaan. Tällainen muutos on Raksu 1985-ohjeeseenkin tarpeen (kuten tehtiin jo 1982 v:n 1980 Rapasu-ohjeeseen), mutta vasta sen jälkeen kun tiedetään tarkemmin, mikä akselipainojen korotuksen todellinen ajoneuvotyyppikohtainen vaikutus on. Sehän voi olla pienempikin kuin 30 %, vaihdella KA-tyypeittäin ja jäädä jopa niin pieneksi, että mitään yleistä korotusta v:n 1985 ajoneuvojen vastaavuuskertoimiin ei tarvita.

Päällysteen vaiherakentamista koskevat seuraukset ovat johdettavissa suoraan yllä sanotusta. Jos KKL:n kasvu olisi 30 %, olisi ne jo suunnitellut tai rakenteilla olevat tiet, jotka sijaitsevat rakenneluokan 3 AB alueella $1,6...2,0 \cdot 10^6$ nostettava luokkaan 2 AB. Vastaavat siirrot olisi tehtävä muidenkin rakenneluokkien "yläpään" teille. Rakenneluokan muutos tuo uuden rakenneluokan mukaisen ajoituksen, mutta mitään muita muutoksia KKL:n kasvu ei aiheuttaisi.

Kun KKL:n todellinen kasvu-% v:n 1990 alusta eteenpäin on vielä epävarma, uusia (ja vain väliaikaisesti noudatettavia) rakenneluokkien rajoja ei voida osoittaa. Päätökset siitä, onko nyt keskeneräisen tien vaiherakentamisen ajoitusta nopeutettava, on syytä tehdä tapauskohtaisesti ottamalla huomioon:

- tiesuunnitelman mukainen KKL ja sen suhde rakenneluokan (vanhoihin) KKL-rajoihin: onko lähellä ylempää luokkaa
- havainnot ylimmän päällystekerroksen alkavista vaurioista
- (- tien kantavuustiedot).

Akselipainojen korotuksen vaikutus päällysteen deformatumiseen. Päällysteen deformatumiseen johtaa kaksi ulkoista tekijää: raskas kuormitus ja ulkoilman korkea lämpötila. Voidaan kysyä, onko akseli- ja telipainojen korotuksella deformatumista pahentava vaikutus siten että jo alempi lämpötila riittää yhtä syviin uriin. Jos lämpimiä kesäpäiviä on yhtä monta, lisääntyvätkö painumaurat? Toisaalta voidaan pohtia, ovatko muutokset niin pieniä, että päällystemassan stabiiliuden parantaminen riittää urasyvyyden kasvun torjuntaan.

Päällysteen pinnassa ei painumia synnyttävä kuormitustekijä ole akselipaino vaan renkaan kosketuspaine. Jos se ei lainkaan muuttuisi, deformatuminenkaan ei lisääntyisi vaikka akselipainot suurentuvat. Todellisuudessa kosketuspaine suurentuu, sillä rengaspainetta yleensä nostetaan kun auto kuormataan olennaisesti raskaammaksi (Ins.tsto EL:n muistio 31.1.1985 s. 11-12).

Myös pelkän pyöräpainon nousu suurentaa kosketuspainetta, esim. saksalaisten tutkimusten /40, 41/ mukaan suhteessa $(Q_1/Q_2)^\beta$, jossa eksponentti $\beta = 0,30 \dots 0,39$.

Jos kuorma-auton taka-akselipaino nousee 10 tonnista 11,5 tonniin, sen rengaspainetta nostettaneen keskimäärin n. 0,75 ---> 0,78 N/mm² (em. muistio). Lisäksi pyöräpainon nousu suurentaisi kosketuspainetta likimain seuraavasti:

$$\left(\frac{11,5}{10}\right)^{0,35} = 1,05 \text{ -kertaiseksi.}$$

Yhteensä kosketuspaineen nousu voi siten olla:

$$\frac{0,78}{0,75} \cdot 1,05 = 1,09 \text{ -kertainen.}$$

Jos vaihtoehtoina ovat 10 ja 11,5 tonnin akselit, deformaatio-urien syvyys kasvaa teoriassa 8-9 % (sitä hiukan pienentää ajo-neuvojen lukumäärän vähentyminen), kun sääolot ovat molemmissa vaihtoehtoissa samat. Teliakselien painomääräysten muutos vaikuttaa teoriassa kutakuinkin saman verran.

Käytännössä asiaan vaikuttaa myös ylikuormien suuruus ja lukumäärä, mutta ei läheskään yhtä tuntuvasti kuin KKL:n kasvuun. Pelkkiä ylikuormia pahentaa se, jos niitä ajetaan roimasti nostetuilla rengaspaineilla. Jos taas ylikuormat saadaan tyytyn pois, se helpottaa deformaation vaaraa ja pienentää jonkin verran yllä arvioitua 8-9 %:n kasvua.

Kaikkiaan akseli- ja telipainojen nousun vaikutus päällysteen deformaatioon jäänee pieneksi. Vastakeinoksi riittävät todennäköisesti massan suhteituksen tarjoamat mahdollisuudet. Riippuvuudet painorajojen muutoksen ja hellepäivien lukumäärän tms. välillä ovat hiukan väkinäisiä ilman omia mittauksia.

Vaiherakentamiseen on mahdollisella deformaation kasvulla vain välillisiä yhteyksiä. Painumaurat on korjattava siinä kuin kulumisuratkin, mikä puoltaa vaiherakentamista. Toisaalta on yhä selvemmin vältettävä epästabiileja massoja eli paksua tasauserrosta vilkas- ja raskasliikenteisillä teillä.

6.4 Vaiherakentaminen ja PMS

Kunnossapidon PMS-järjestelmät /15/ perustuvat keskeisesti vauriohavaintoihin ja -mittauksiin. Kun myös vaihteittain rakennettavien teiden seuranta ja jatkon ajoitus vaativat enemmän vauriohavaintoja kuin esim. kantavuusmittauksia, on lähellä ajatus liittää vaiherakennettavat tiet PMS-seurantaan. Olisiko tästä etua vai haittaa?

Vanhat ja uudet tiet eroavat toisistaan sekä havaintojen kohteena että niiden tarkoituksen osalta. PMS-teitä on paljon, niiden vauriot ovat selviä ja usein pitkälle kehittyneitä. Mittaukset on tehtävä

nopeasti ja pikkutarkkuutta välttäen. Tulostus on kehitetty tämän mukaisin rutiinein. Rakenteilla olevat 1-, 2- tai 3-kerroksiset tieosat taas ovat ehjän näköisiä ja niissä on keskityttävä vielä tuskin näkyviin vaurioihin kävelyvauhtia. Pienehkö yhteispituus tekee tämän toisaalta mahdolliseksi. Tuloksia on samalla tulkittava ankarammin kuin kunnossapidon PMS:n osana.

Näyttää siten siltä, että vaiherakentamisen vauriohavainnointia ei kannata yhdistää PMS-mittausten kanssa. Aineiston keruu tätäkin muistiota varten viittaa samaan suuntaan: omalla tahollaan hyödyllisiä PMS-mittauksia ei voitu kovin paljon hyödyntää vaiherakentamisen arvioinnissa.

7 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

7.1 Vaiherakentamisen päälinjoja

Tässä muistiossa on pyritty tarkastelemaan paksun päällysteen vaiherakentamista niin monipuolisesti kuin suomalaisesta näkökulmasta on mahdollista ilman laajoja tutkimuksia. Keskeinen osa tuloksista perustuu silti kenttähavaintoihin eri-ikäisten päällysteiden vaurioitumisesta. Aineisto on melko suppea (30 varsinaista havaintotietä, lisänä joukko yksittäisiä esimerkkitapauksia), mutta tyydyttävän edustava.

Suomessa on vanhastaan ollut hyvin myönteinen kanta vaiherakentamiseen, jossa on nähty selkeitä teknistaloudellisia etuja. Viime vuosina heränneillä epäilyillä on vastapainona oikeutuksensa, mutta haittoja ei ole syytä suurennella. Liian hitaan rakentamisen tuomia epäonnistumisia on niukasti ja näistä saatavat viitteet ajoituksen nopeuttamiseksi voidaan ottaa huomioon ilman että koko tähänastisesta vaiherakentamisen periaatteesta joudutaan luopumaan.

Kehitys vienee siihen, että vaiherakentamisen liikenteelliset edut - erilaisten epätasaisuuksien korjaaminen tavallaan ilmaiseksi - menettävät tekniikan parantuessa jonkin verran merkitystään, mutta taloudellinen puoli säilyy tärkeänä. Vaikka päällysteiden reaalihinta nousisikin tai vaihtelisi säännöttömästi, aikataulun venyttäminen tuo tuntuvia säästöjä ilman että samalla vaarannettaisiin tien tulevien vuosien palvelutasoa. Itse asiassa vaiherakentaminen on välttämätön periaate taloudellisessa tienpidossa. Muuten rakennustoimiala tuhlaa määrärahoja samaan aikaan kun kunnossapito pyrkii optimoimaan varojen käyttöä pitkälle viedyin PMS-järjestelmin. - Se, että ulkomailla ei vaihteittain rakentamisella ole vahvaa asemaa, johtuu osittain rakennetyyppien ja olosuhteiden erilaisuudesta ja osittain vanhasta perinteestä, joka ei ole pakottanut etsimään taloudellista optimiajoitusta. Mielenkiintoa vaiherakentamista kohtaan näyttää ulkomaillakin silti olevan.

Eräs huomio tämän muistion 1- ja 2-kerroksisilta havaintoilta on se, että monissa tapauksissa vauriosumma on pieni mutta urasyvyys suurehko ja siinä on deformatumisella selvä osuus. Sen mukaan ei kannattaisi panostaa liikaa vaurioiden

välttämiseen vaan pikemminkin urien ja epätasaisuuden torjuntaan, tarvittaessa melko lyhyinkin väliajoin. Samalla on pyrittävä pienentämään deformatumista vähentämällä epästabiilien tasaumassojen käyttöä ja lisäämällä laboratoriosuhteitusta päällystemassojen suunnittelussa.

Yllä esitetyistä vaiherakentamista puoltavista näkökohdista huolimatta näyttää siltä, että v:n 1985 Raksu-ohjeiden aikataulukaa-vioita on syytä jonkin verran nopeuttaa. Yleisenä syynä tähän on kohtuullinen varautuminen epäsuotuisiin seikkoihin, kuten alustan puutteelliseen kantavuuteen, päällystemassan huonoihin raaka-aineisiin, epäedullisiin sääoloihin tai jostain syystä kelvottomaan työhön. Samalla on varoitettava ohjeita nopeammasta päällystämisestä ilman nimenomaista, hyvin perusteltua syytä. Ennenaikainen päällystäminen ei ole rahan tallettamista pankkiin vaan virhesijoitus, joka vie rahat pois toiselta, päällystettä paremmin tarvitsevalta kohteelta.

7.2 Toimenpide-ehdotukset

On ilmeistä, että Raksu-ohjeen kaltainen vaiherakentamisen yleinen ajoituskaavio (liite 1) on edelleen hyödyllinen. Tässä luvussa tehdään ehdotus nykyisen ohjeen muuttamiseksi nopeuttamalla ajoitusta jonkin verran ja osittain suurentamalla kerrospaksuuksia. Muutokset perustuvat lähinnä seuraavaan aineistoon:

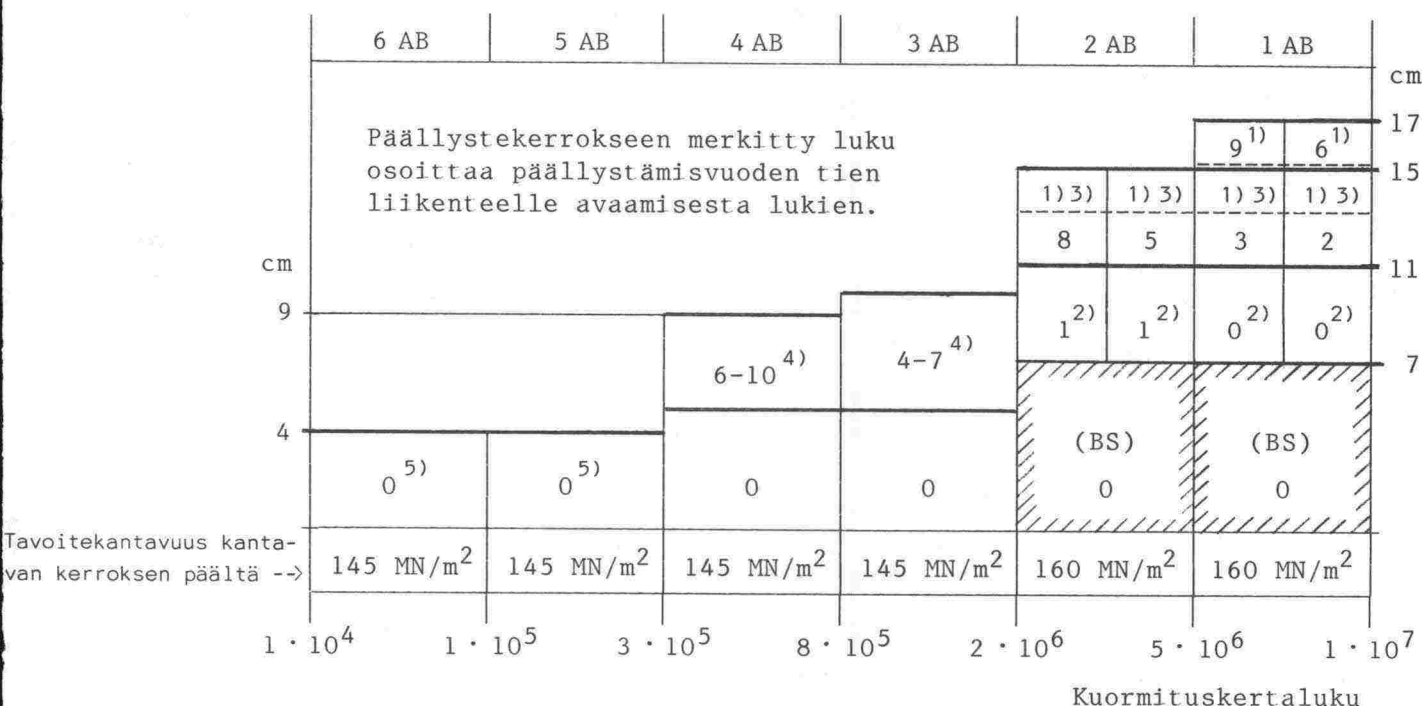
- TVH / Skk, Tg:n muistio 16.5.1989 Suunnitelmissa käytettävä murskeen E-moduli
- Tämän muistion luvut 3.5 (havaintoaineiston yhteenvedo), 4.3 (haastattelut), 4.4 (kustannusvertailut), 6 (erilliskysymykset).

Rakenneluokkien väliset KKL-rajat ehdotetaan pidettäväksi ennallaan huolimatta akseli- ja telipainojen korotuksesta, mikä edellyttää ajoneuvokohtaisten vastaavuuskertoimien uutta määrittelyä, ks. tämän muistion s. 49-50. Ennen sitä toteutettavien suunnitelmien mahdollinen lisävahvistustarve harkitaan tapauskohtaisesti, ks. s. 49.

Ehdotus AB-rakenneluokkien uudeksi ajoituskaavioksi esitetään seuraavalla sivulla (kuva 00:0).

Kantavuuden vaatimat päällystekerrokset ja niiden ajoitus

AB-rakenneluokat:



Kuva 00:0

Huomautukset:

- 1) Kulumisurat korjataan III päällystekerroksesta alkaen jyrsimällä. Pisteiviiva osoittaa 2 cm:n jyrsintäsyvyyttä, jolloin uudet 4 cm:n kerrokset lisäävät päällysteen kokonaispaksuutta vain 2 cm:llä.
- 2) II päällystekerros voidaan lykätä (vajaan) 1 vuoden myöhemmäksi, jos olosuhteet erityisesti puoltavat lykkäystä (ei paljon vaurioita, ei haitallisia uria).
- 3) III päällystekerros voidaan lykätä 1-2 vuotta myöhemmäksi, jos olosuhteet erityisesti puoltavat lykkäystä.
- 4) Luokissa 3 AB ja 4 AB riippuu tarkempi II päällystekerroksen ajoitus alemman kerroksen vauriokehityksestä sekä hankkeen tyy-pistä (rakenteen parantaminen edellyttää nopeampaa ajoitusta, uudet tiet ja suuntauksen parantaminen hitaampaa ajoitusta).
- 5) Päällystetyyppinä vaihtoehtoisesti myös KAB, ks. taulukoita 51:1 ja 51:2.

Muita päällystämisen ajoituksessa huomattavia seikkoja:

1. Kuva 00:0 osoittaa vaiheittain rakennettavien päällystekerros-ten normaalin ajoituksen niin pitkälle, että eri rakenneluokkien kantavuustavoitteet täyttyvät. Myöhempien toimenpiteiden tyyppi (myös erilaiset pintaukset ja tasausjyrsintä) määräytyvät kunnossa-pito-organisaation PMS-ohjelmoinnin mukaan.

2. Milloin päällystysvuosiin on merkitty liikkuma-alaa, valitaan aikaisempi ajoitus seuraavissa tilanteissa (kriteereistä ensimmäinen on tärkein, muut ovat myötävaikuttavia tekijöitä):

- vauriokehitys tai kuluminen on tavanomaista nopeampaa
- alapuolinen rakenne on tavanomaista heikompi
- kantavana kerroksena on maabetonirakenne
- hankkeen toimenpiteenä on rakenteen parantaminen
- mitoitus-KKL on lähellä rakenneluokan ylärajaa.

Vastaavasti valitaan myöhäisempi ajoitus ja rakenneluokissa 1 AB ja 2 AB harkitaan ohjeajoituksen myöhentämistä, jos:

- vauriokehitys ja kuluminen ovat tavanomaista hitaammat
- kantavana kerroksena on imeytyssepellys tai bitumistabilointi tai tie on rakennettu louhepenkereelle
- tielle on tehty hyvin onnistunut erikoisluja päällyste (KBAB, ABE, SMA tms.)
- hankkeen toimenpiteenä on (teknisesti) uuden tien rakentaminen
- mitoitus-KKL on lähellä rakenneluokan alarajaa.

3. Nopeampaa ajoitusta kuin kuvassa 00:0 ei suositella noudatettavaksi missään vaiheessa ilman nimenomaista ja ilmeistä syytä. Nopeamman ajoituksen edullisuus on voitava osoittaa vertailulaskelmin.

4. Alustana olevien I ja II päällystekerroksen tasaaminen tehdään tasausmassalla, joka suhteutetaan vain vähän deformatuvaksi ja jota levitetään mahdollisimman ohuesti. III:n ja myöhempien päällystekerrosten tasaaminen tehdään yleensä jyrsimällä.

7.3 Ehdotuksen kustannukset ja kannattavuus

Jos luvun 7.2 ehdotukset toteutetaan, ne aiheuttavat nopeamman ajoituksen osalta tienpidolle lisäkustannuksia. Näitä kompensoi osittain se, että joidenkin tieosien ennenaikainen vaurioituminen ja sen aiheuttamat yllättävät kustannukset estyvät. Todennäköisesti suurempi säästö koituu kuitenkin siitä, jos samassa yhteydessä kyetään välttämään tarpeettoman nopea vaiherakentaminen.

Kustannustarkastelut ovat pakosta hyvin likimääräisiä. Niiden kulku on seuraava:

1. Arvioidaan, paljonko lähivuosina rakennetaan tai parannetaan yleisiä teitä kuhunkin seuraavista rakenneluokista: 1 AB - 2 AB - 3 AB - 4 AB (km/v, keskimäärin).

2. Lasketaan samaan tapaan kuin tämän muistion esimerkeissä, kuinka suuriksi eri ajoitusmallien - Raksu 1985 ja uusi ehdotus - mukaiset km-kustannukset muodostuvat, kun tarkasteluaikana on 20-30

vuotta. Leveydeltään olennaisesti erilaisille tietyypeille laske-
taan eri kustannukset (moottoritiet ym.). Samoin otetaan huomioon
hitaan ajoituksen vaatimat välitoimenpiteet urakulumien takia.

3. Vaihtoehtoisten ajoitusmallien kustannusten erotus (mk/km)
kerrotaan vastaavan uusien teiden ryhmän pituudella (km/v), jolloin
saadaan lisäkustannusten bruttosumma mk/v.

4. Bruttokustannuksista vähennetään muutoksen tuomat todennäköi-
set säästöt. Jäljelle jääviä nettokustannuksia on arvioitava niitä
hyötyjä vasten, jotka eivät näy suoraan rahana: päällysteiden vau-
rioitumisriskin pienentyminen ja todennäköinen ajettavuuden paran-
tuminen.

1. TVH:n lähteistä arvioiden (TIE 2000 ja Heikki Blockin haastat-
telu) on kauden 1990-95 rakennushankkeiden keskimäärä likimain seu-
raava:

- | | |
|--|------------|
| - kapasiteetin parantaminen (moottoritiet ym.) | n. 80 km/v |
| - kestop. teiden suuntauksen tai rak. parantaminen | 150 " |
| - kevytp. teiden suunt. ja rak. par. (400 km/v); AB-tieksi | 200 " |

Yhteensä n. 430 km/v

(Vaiherakentaminen ei koske kevyitä rakenteen parantamishankkeita,
jotka vastaavat lähinnä uudelleenpäällystämistä, eikä sorateiden
päällystämishankkeita. Kummankin ryhmän arviopituus on n. 200 km/v.)

Yhteispituus 430 km/v jakautuu arviolta seuraaviin osiin rakenne-
luokittain:

- | | |
|---|---------|
| 1 AB (moottoriteitä, 2-kaist. teitä 4-kaistaisiksi,
moottoriliikenneteitä) | 50 km/v |
| 2 AB (- " - , lisäksi kestop. teiden suuntauk-
sen parantamishankkeita) | 60 " |
| 3 AB (pääosin kestop. ja kevytp. teiden suunt. ja
rakenteen parantamishankkeita) | 150 " |
| 4 AB (pääosin kevytp. teiden suunt. ja rak. par. h.) | 170 " |

Yhteensä 430 km/v

Myös v:n 1995 jälkeen vuotuiset km-määrät pysyivät suunnilleen
tässä arvioidulla tasolla (H. Block).

2. Eri ajoitusmallien mukaan lasketut kustannuserot muodostuvat
tieryhmittäin seuraaviksi (tarkastelun loppuvuosi tasataan samaksi

ottamalla huomioon osa seuraavan toimenpiteen kustannuksista). Rahan arvo on v:n 1989 mukainen:

<u>Rakenne-</u> <u>luokka</u>	<u>Tietyyppi</u>	<u>Uusi ehdotus</u> <u>kalliimpi, mk/km</u>
1 AB	moottoritie, KVL > 15 000	82 000
1 AB	" KVL < 15 000	73 000
1 AB	2-kaist. tie 4-kaistaiseksi	73 000
1 AB	moottoriliikennetie	44 000
2 AB	moottoritie, KVL < 10 000	55 000
2 AB	2-kaist. tie 4-kaistaiseksi	55 000
2 AB	moottoriliikennetie	33 000
2 AB	muu 2-kaistainen tie	21 000
3 AB	nopea ajoitus, KVL > 2500	30 000
3 AB	hidas ajoitus, KVL < 2500	15 000
4 AB	keskinopea ajoitus	17 000

3. Kun kustannusero kerrotaan vastaavan tieryhmän arvioidulla pituudella (km/v), saadaan seuraavat bruttokustannukset:

Rakenneluokka 1 AB:

- moottoritie, KVL > 15 000:	20 km/v	82 000 mk/km	=	1 640 000 mk/v
- " KVL < 15 000:	10	73 000	=	730 000
- 2-kaist. tie 4-kaistais.:	10	73 000	=	730 000
- moottoriliikennetie:	10	44 000	=	440 000
	50 km/v	Yhteensä		3 540 000 mk/v

Rakenneluokka 2 AB:

- moottoritie:	10 km/v	55 000 mk/km	=	550 000 mk/v
- 2-kaist. tie 4-kaistais.:	5	55 000	=	275 000
- moottoriliikennetie:	10	33 000	=	330 000
- muu 2-kaistainen tie:	35	21 000	=	735 000
	60 km/v	Yhteensä		1 890 000 mk/v

Rakenneluokka 3 AB:

- KVL > 2500:	70 km/v	30 000 mk/km	=	2 100 000 mk/v
- KVL < 2500:	80	15 000	=	1 200 000
	150 km/v	Yhteensä		3 300 000 mk/v

Rakenneluokka 4 AB:

- pääas. eril. par. teitä:	170 km/v	17 000 mk/km	=	2 890 000 mk/v
----------------------------	----------	--------------	---	----------------

Bruttokustannus yhteensä: $3,5 + 1,9 + 3,3 + 1,9 = 11,6$ milj. mk/v.

4. Kustannusten säästöt:

a) Ennenaikaisen vaurioitumisen välttäminen: koskee vain pientä osaa, arviolta enintään 10 %:a uusista teistä = n. 40 km/v. Otaksutaan keskimääräiseksi säästöksi 20-30 v:n aikana = 30 000 mk/km, jolloin kokonaissäästöksi tulee n. 1,2 milj. mk/v.

b) Ennenaikaisen päällystämisen välttäminen: koskee arviolta 10-20 %:a uusista teistä = n. 60 km/v. Jos keskimääräiseksi säästöksi arvioidaan 50 000 mk/km, koko säästöksi tulee n. 3,0 milj. mk/v. (Jos ajoituksen optimointi onnistuisi ihanteellisesti, nämä säästöt kasvaisivat vastaavasti.)

Koko muutosehdotuksen likimääräiset nettokustannukset ovat siten: $11,6 - 1,2 - 3,0 = \text{n. } 7,4 \text{ milj. mk/v}$ (vaihteluväli lienee ainakin 5 - 10 milj. mk/v).

Kannattaako ajoituksen muuttaminen? Mikään kustannusvertailu ei osoittane nopeutettua ajoitusta välittömästi kannattavaksi. On kuitenkin otettava huomioon myös seuraavat tekijät:

a) Nopeutettu ajoitus pienentää vaurioitumisriskiä kautta tieverkon siten, että sitä on pidettävä pitkäjänteiselle tienpidolle edullisena. Uudistuksen jälkeen myös yksittäiset harmilliset epäonistumiset vältettäisiin kutakuinkin kokonaan ilman, että varmuus olisi vielä liiallista.

b) Nopeutettu ajoitus on omiaan jonkin verran parantamaan näiden teiden laatua (ajettavuutta). Tämän eron vaikutusta ajokustannuksiin ei kyetä nykymenetelmin osoittamaan, mutta tietty vaikutus, kuten myös pienehkö mukavuuden lisäys on silti olemassa.

Nettokustannus, n. 5 - 10 milj. mk/v ei vielä liene liikaa saataviin hyötyihin nähden. Toisaalta on korostettava, että kuvatuista epätäsmällisistä hyödyistä ei kannata maksaa mitä tahansa. Vertailun pohjana olevia arvioita olisi tarkennettava mahdollisuuksien mukaan.

Todettakoon vielä toimialajaosta, että jos uudet tiet siirretään päällystämisenkin osalta kp-toimialalle aina esim. 5 vuoden tai luokasta riippuen jo 1-2 päällystekerroksen jälkeen, tämä lisää kp-toimialan ja vähentää rak.toimialan päällystämistarvetta. Ehdotettu vaiherakentamisen nopeampi ajoitus koskee siten hiukan kp-toimialaakin lisäämällä sen päällystämisen volyymia ja kustannuksia.

7.4 Avoimiksi jääneitä vaiherakentamisen osakysymyksiä

Tässä muistiossa ovat jääneet ainakin osittain vastausta vaille mm. seuraavat kysymykset:

- Millä tavoin tyypillisimmät vaiheittain rakennetut tiet (rakenneluokkien 1 AB ja 2 AB päätiet) ovat käyttäytyneet valmistumisensa jälkeen? Onko niiden palvelutasossa tai vauriokehityksessä eroja, joiden syyksi voitaisiin osoittaa päällystekerrosten erilainen ajoitus? (s. 6-7).

- Minkälaisia käytännön sovelluksia voidaan johtaa Minerin väsymislaista vaiherakentamiselle tyypillisessä tilanteessa, jolloin AB- tai BS-kerros saa suurimmat jännityksensä ensin ollessaan tien pinnassa, sitten uudelleenpäällystämisen jälkeen alentuneet jännitykset kulutuskerroksen alla, seuraavassa vaiheessa taas alentuneet jännitykset jne. - Mikä on optimaalinen tapa lähestyä alkuperäisen kantavuuden 100 %:n käyttöastetta (joka on epätasällinen käsite), kun otetaan huomioon myös yhä pienemmät lämpötilan muutokset alemmissa kerroksissa? (s. 28-30).

- Noudatetaanko missään ulkomailla suomalaistyyppistä "venytettyä" massapäällysteiden vaiherakentamis-aikataulua ja minkälaisen kehityksen tai selvitysten kautta siihen käytäntöön on tultu? (s. 39-42).

- Mistä kerrospaksuuksista alkaen tasausmassan epästabiilius suurentaa yläpuolisen päällysteen deformatumista? Minkälaiset vuorovaikutussuhteet vallitsevat eri tekijöiden välillä (kerrospaksuudet ja syvyysijainti, massan ominaisuudet, akseli-painot ja päällysteen lämpötila tai hellepäivien lukumäärä ym.; s. 43, 50-51).

VIITEKIRJALLISUUTTA

- /1/ Teiden suunnittelu, osa IV Päälysrakenne. TVL 29.1.1964. (Luku IV 1.13 Vaiheittain rakentaminen).
- /2/ Perälä, Esko: Yksiajorataisen tien vaiheittain rakentamisesta ja sen taloudellisuudesta. Oulun Yliopisto, diplomityö 1969.
- /3/ Päälystysohjelma 1970. Tie- ja vesirakennushallitus, tierakennustoimisto 1969. (Ohjelman liite 2).
- /4/ Hämy-projekti: raportti 1, Hämy-menetelmän yleiskuvaus. Tie- ja vesirakennushallitus, talousosaston tutkimustoimisto, sarja B:2/1982. 29 s. + liitteet.
- /5/ Teiden suunnittelu (TVH 722300), osa IV, Päälysrakenne. TVL 16.9.1985. (Luku 5.113 Päälystämisen ajoitus).
- /6/ Päälystystoiminnan periaatteita Uudenmaan piirissä. Tie- ja vesirakennuslaitos, Uudenmaan piiri 1987. 8 s. + liitteet.
- /7/ Orama, Reijo: Tiestön kantavuus. Tie ja Liikenne 4/1989.
- /8/ Hailikari, Tauno: Päätoimittajalle. Tie ja Liikenne 6/1989.
- /9/ Talvitie, Antti: Huonot tiet. Suomen Kuvalehti 40/1989.
- /10/ Päälystevaurioiden maastoinventointiohje (TVH 743957). Tie- ja vesirakennushallitus, kunnossapitotoimisto & LTT Oy 1988. 21 s.
- /11/ Jämsä, Heikki & Saarinen, Harri: Teiden kunto ja palvelutaso. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 429. Espoo 1985. (s. 22).
- /12/ Päälystesuunnittelu 1984 (TVH 742853). Tie- ja vesirakennushallitus, kunnossapitotoimisto 1984. (s. 65-66).
- /13/ TVL:n piirien vauriokartoitusten ja VTT:n uramittarilla tehtyjen vaurioinventointien vertailu. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio, tutkimusselostus 731. (Jyrki Karhula). Espoo, kesäkuu 1989. 28 s.
- /14/ Huhtala, Matti: Palojärven-Olkkalan koetien päälysrakenteen teoreettiset laskelmat. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio, tiedonanto 59. Espoo 1980. (1.2).
- /15/ Päälystettyjen teiden kunnossapidon suunnittelu- ja ohjausjärjestelmät (TVH 743953). Tie- ja vesirakennushallitus, kunnossapitotoimisto 1987. (Henry Westlin). 194 s.
- /16/ Abell, R.: Economics of staged construction of flexible road pavements. Transport and Road Research Laboratory, TRRL Laboratory Report 1069. Crowthorne 1983. 23 s.
- /17/ Thickness design - asphalt pavements for highways and streets. The Asphalt Institute, Manual Series No. 1, 1981. (s. 65-67).

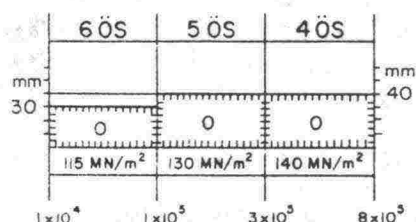
- /18/ Tien rakenteen parantaminen, suunnitteluohje (TVH 722336). Tie- ja vesirakennushallitus, tiensuunnittelutoimisto ja maatutkimustoimisto 1980. (s. 17).
- /19/ Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO 86). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln 1986. (s. 11, 13).
- /20/ Byggnadstekniska föreskrifter och allmänna råd (BYA 84). Vägverket TU 154, 1984. (Kap. 7:02.00).
- /21/ Asfaltbeläggningar med lång livslängd. ABV 1987. (s. 12-15).
- /22/ Nakkel, Egil: A vision of road construction. Flexible roads. Shell AG, Vienna 1975. (s. 268-270).
- /23/ Dempwolff, Rudolf: Vollausbau und stufenweiser Ausbau flexibler Fahrbahnbefestigungen aus der Sicht der Bemessung. Strasse und Autobahn 6/1975. (s. 202-206).
- /24/ Department of Transport: Structural design of new road pavements. Departmental Standard HD 14/87. September 1987. (Sel. lehdessä Highways, Oct. 1987, s. 22, 30).
- /25/ Thrower, E. N. & Burt, M. E.: A study of the economics of stage construction for road pavements. Road Research Laboratory, RRL Report LR 286. Crowthorne 1969. 40 s.
- /26/ PIARC XVI World Road Congress Vienna 16-21.9.1979, General Report - Question II: Earthworks and pavement construction. (s. 59-60, 73).
- /27/ Kanerva, Hannele: Päälystekerrosten liimaus. ASTO-väliraportti TR 83. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio nro 732. Espoo, heinäkuu 1989. (s. 8).
- /28/ Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types. The Asphalt Institute, Manual Series No.2, 1984. 112 s.
- /29/ Zichner, G.: Neue Wege zur Herstellung von Strassendecken für hohe Beanspruchungen. Strasse und Autobahn 10/1972. (s.516).
- /30/ Beläggningars plastiska deformation, en litteraturundersökning. Samarbetet Neste-Nynäs. April 1978. 126 s.
- /31/ Nurmi, Tapio: Päälysteiden jäykkyyteen ja väsymiskestävyyteen vaikuttavia teijöitä. ASTO-esiselvitys TR 10 (Vahvistusmenetelmät). Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio nro 649. Espoo, toukokuu 1988. (s.13-15).
- /32/ Asfalttimassan sekoitus. ASTO-esiselvitys TR 7. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio nro 646. Espoo, tammikuu 1988. (s. 11-13).
- /33/ Minimizing reflection cracking of pavement overlays. National Cooperative Highway Research Program 92. Transportation Research Board, Washington D. C. 1982. (s. 24).

- /34/ Leinonen, Martti: Kokemuksia bitumistabiloinnista. Asfalttiurakoitsijain liitto, päällystekurssi 1990. 22 s.
- /35/ Bitumistabilointiraportti: Koetiet 1985-1988. PANK ry:n stabilointitoimikunta. Huhtikuu 1989. 23 s. + liitteet.
- /36/ Rahiala, Jussi: Maabetoni ja betonipäällysteet (TVH 723867). Rakennusaineteollisuusyhdistys sekä tie- ja vesirakennushallitus, syyskuu 1988. (s. 35).
- /37/ Painomittaus nakertaa puukuorman kokoa. Tekniikka & Talous/ Ari Kapanen, 18.8.1989. (s. 15).
- /38/ Maukonen, Markku: Paino- ja mittamuutoksen vaikutus kuljetusmaksuihin. Ammattiautoilija 11/1989. (s. 20-21).
- /39/ Maukonen, Markku: Tiestö ja kuorma-autoliikenne. PANK ry., Tien kantavuusseminaari 19.1.1989 Oulu. 2 s.
- /40/ Eisenmann, J. & Hilmer, A.: Auswirkungen einer Erhöhung der Achslasten von Nutzfahrzeugen. Strasse und Autobahn 6/1987. (s. 210).
- /41/ Eisenmann, J. & Leykauf, G. & Lempe, U.: Auswirkungen erhöhter Fahrzeuggewichte auf die Strassenbeanspruchung. Roads and Traffic 2000, Berlin 6-9.9.1988. (s. 58).

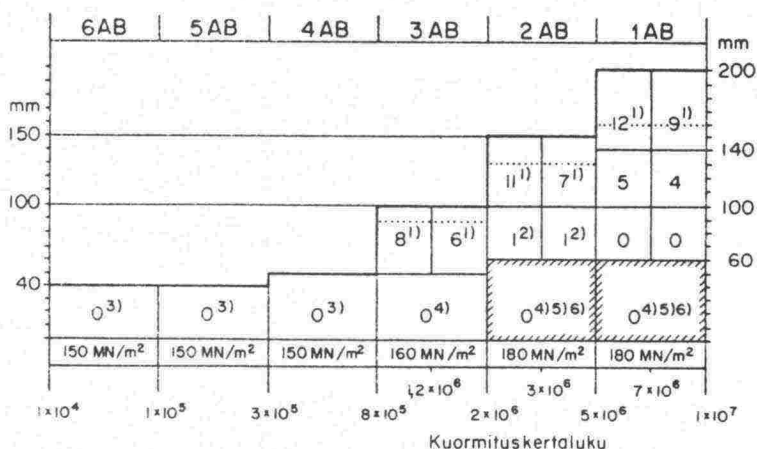
Päällysrakenne

Kantavuuden vaatimat päällystekerrokset ja niiden ajoitus

Kevytpäällysteet



Kestopäällysteet



Huomautukset:

- 1) Tätä osuutta päällysteen kokonaispaksuudesta ei tehdä yleensä yhtenä kerroksena, vaan paksuuteen saattaa sisältyä myös pintauksia, joita tarvitaan kulumisurien korjaamiseen. Pisteviivan mukainen päällystepaksuus on kuitenkin saavutettava tai ylitettävä viimeistään kerroksen kohdalle merkittynä vuotena. Tämä osuus jää yleensä kunnossapito-organisaation toteutettavaksi.
- 2) Taajamien katumaisilla teillä on toisinaan tarkoituksenmukaista tehdä kaksi ensimmäistä päällystekerrosta heti, jolloin vältetään reunatukien haitallinen madaltuminen. Alempi päällystekerroksista tehdään aina BS:sta.
- 3) Taulukon 51:1 tai 51:2 perusteella vaihtoehtoisesti myös KAB.
- 4) Jos sitomattomat kerrokset on mitoitettu kuvassa esitettyä alhaisempaan kantavuuteen esimerkiksi kantavaan kerrokseen sopivien materiaalien puutteen vuoksi, menetellään seuraavasti:
Alinta päällystekerrosta paksunnetaan 10 mm, jos kantavuusvaje on 12 MN/m^2 ja 20 mm, jos kantavuusvaje on 25 MN/m^2 . Alin päällystekerros tehdään tällöin aina BS:sta.
- 5) Painumille ja jälkitiivistymille alttiissa paikoissa seuraavan päällysteen rakentamista voidaan lykätä 1 vuodella kuvaan merkitystä. Tällöin BS korvataan samanpaksuisella AB-kerroksella tai suhteutetaan paremmin kulumista kestäväksi. Ratkaisu on plastisten deformaatioiden kannalta jonkin verran huonompi.
- 6) Louherakenteessa ja kalliioleikkauksessa 160 mm imeytyspellystä korvaa 60 mm bitumisoraa ja 150 mm kantavan kerroksen murskettä.

Merkintöjen selitykset:

Päällystekerrokseen merkitty luku osoittaa päällystämivuoden tien avaamisesta lukien.

Eri vaiheissa vaadittava päällysteen kokonaispaksuus saadaan kuvan reunan asteikolta. Myöhempien päällystekerrosten paksuudessa on otettava huomioon edellisen päällysteen kuluminen.

Kulumisurat tai muut vauriot saattavat edellyttää toimenpiteitä nopeammassa tahdissa kuin tämä kuva.

Pisteviiva tarkoittaa päällystepaksuutta, jolla saavutetaan kuvan 52:2 lopullinen tavoitekantavuus, jolla saavutetaan 20 vuoden mitoitusikä. Jos pisteviiva ylitetään, tiestä tulee pitkäikäisempi.

	AB kerrokset
	BS kerrokset
	ÖS kerrokset
	Sitomattomien kerrosten kantavuus

TVH/Skk
Kari Lehtonen

TUTKIMUSSUUNNITELMA
12.7.1989

**PÄÄLLYSTEIDEN VAIHEITTAINRAKENTAMINEN
PÄÄLLYSRAKENNELUOKISSA 1...4 AB**

Mitä hyötyä saavutetaan, jos vaiheittainrakentamista nopeutetaan v. 1985-89 suunnitteluohjeisiin nähden eli

- luokissa 1...3 AB kaikki mitoitusmerkityt päällysteet tehdään 2 vuoden kuluessa ja tämän jälkeen kulumisurat korjataan ensisijassa jyrsimällä
- luokkaan 4 AB lisätään toinen päällysterkerros, joka tehdään 5 vuoden kuluessa?

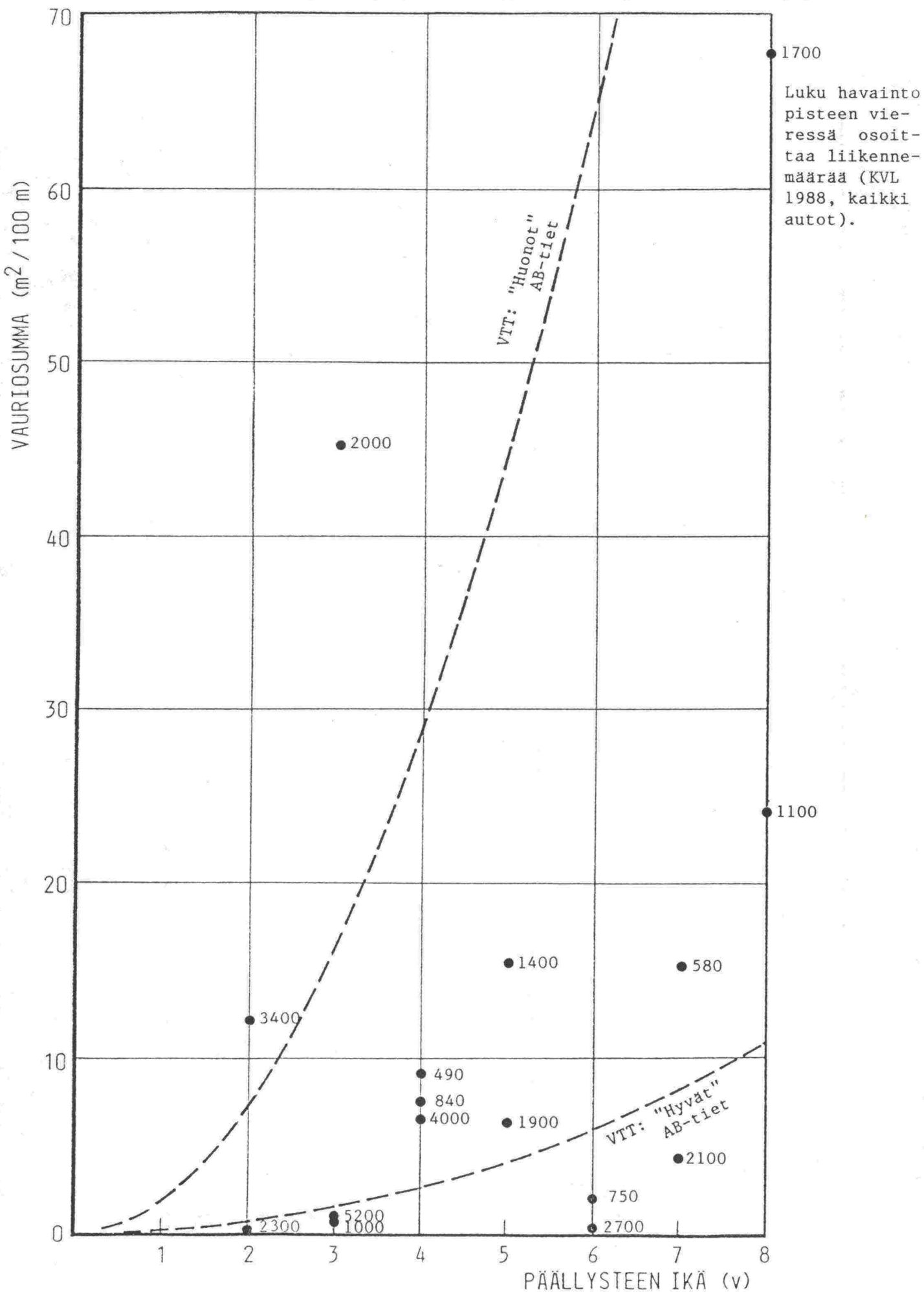
Mitä kustannuksia tästä koituisi?

Asian selvittämiseksi

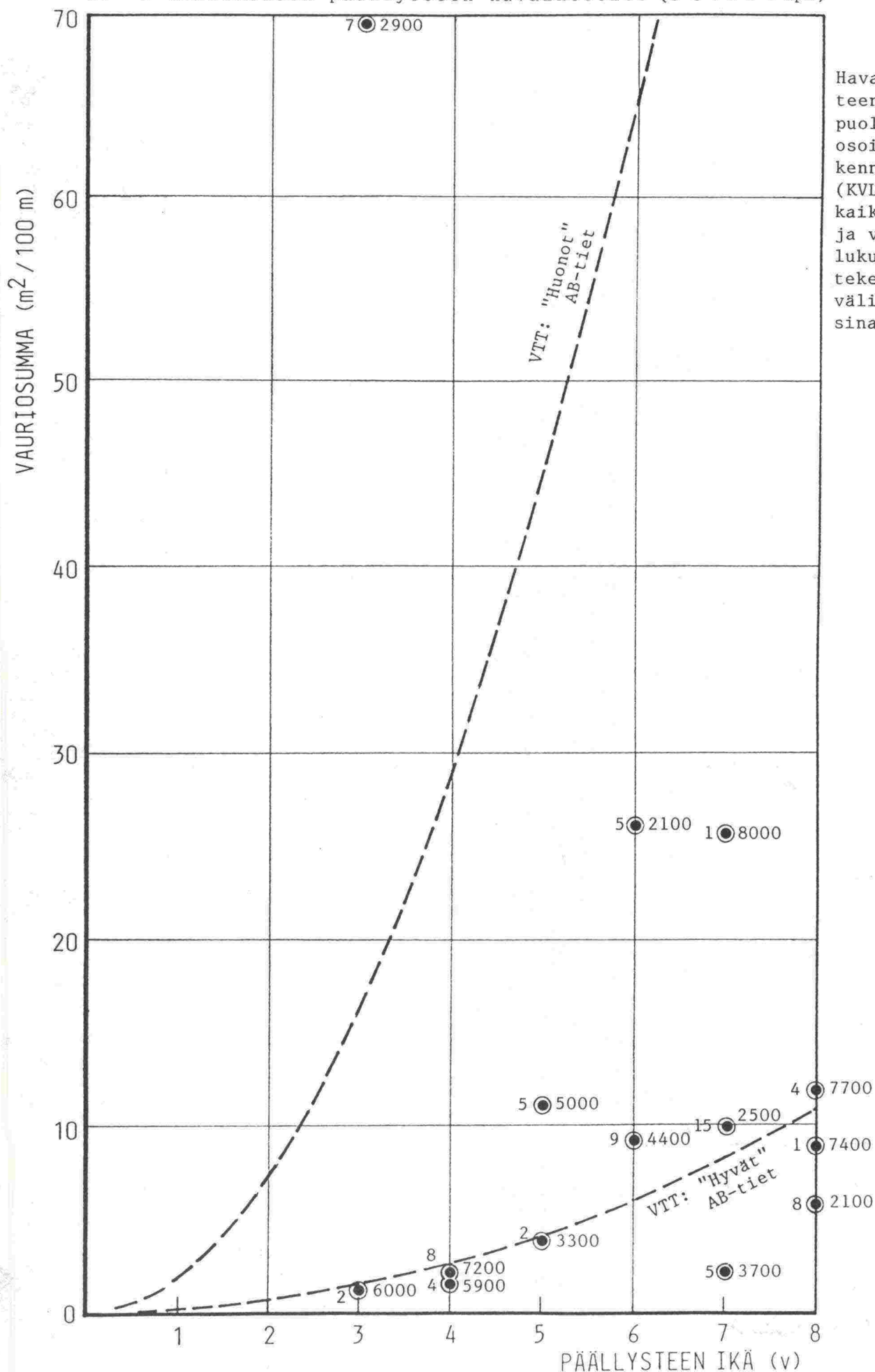
- a) toimenpideohjelmasta ja tierekisteristä poimitaan 10...40 tieosuutta, jotka kuuluvat päällysrakenneluokkaan 1...4 AB ja jotka on rakennettu vuosina 1985...88. Näissä yritetään selvittää, missä aika-aulussa päällysteet on tehty ja onko päällysteissä havaittu päällystevaurioita tai jälkitiivistymisen aiheuttamia painumia.
- b) todetaan ulkomainen käytäntö
- c) yritetään selvittää kirjallisuudesta esim. säilyykö bitumisoran sitkeys ja kimmoisuus merkittävästi paremmin, jos kerrosta ei milloinkaan altisteta suorille sään ja ilman hapen vaikutuksille
- d) lasketaan, mitkä ovat eri vaiheittainrakentamis-, kulumisurien korjaus- ja jälkitiivistymien korjausstrategioiden kustannukset ja edut eri olosuhteissa eri liikennemäärillä
- e) arvioidaan, mikä merkitys uusilla päällystetyypeillä, louherakenteilla, kantavan kerroksen stabiloinnilla tai paksulla routamitoitetulla rakenteella on vaiheittainrakentamiseen
- f) todetaan akseli-, teli- ja ajoneuvopainojen korotuksen merkitys

Lisäksi TVH voisi lähettää lähes valmiin raportin Ruotsiin ja Norjaan, jolloin kysyttäisiin onko näissä maissa selvitetty vaiheittainrakentamisen kannattavuutta.

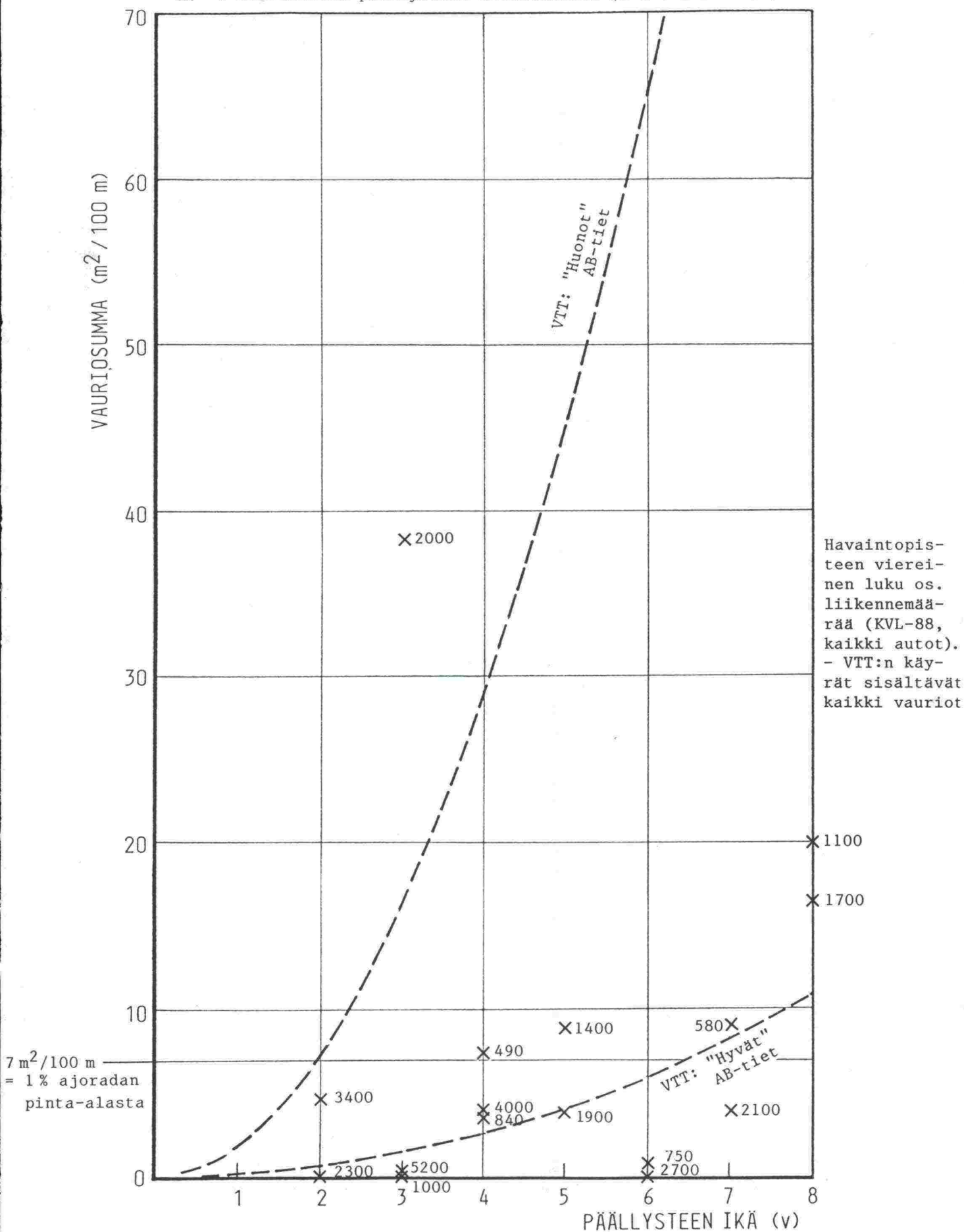
A. 1-kerroksisen päällysteen havaintotiet (2-8 v á 2-3 kpl)



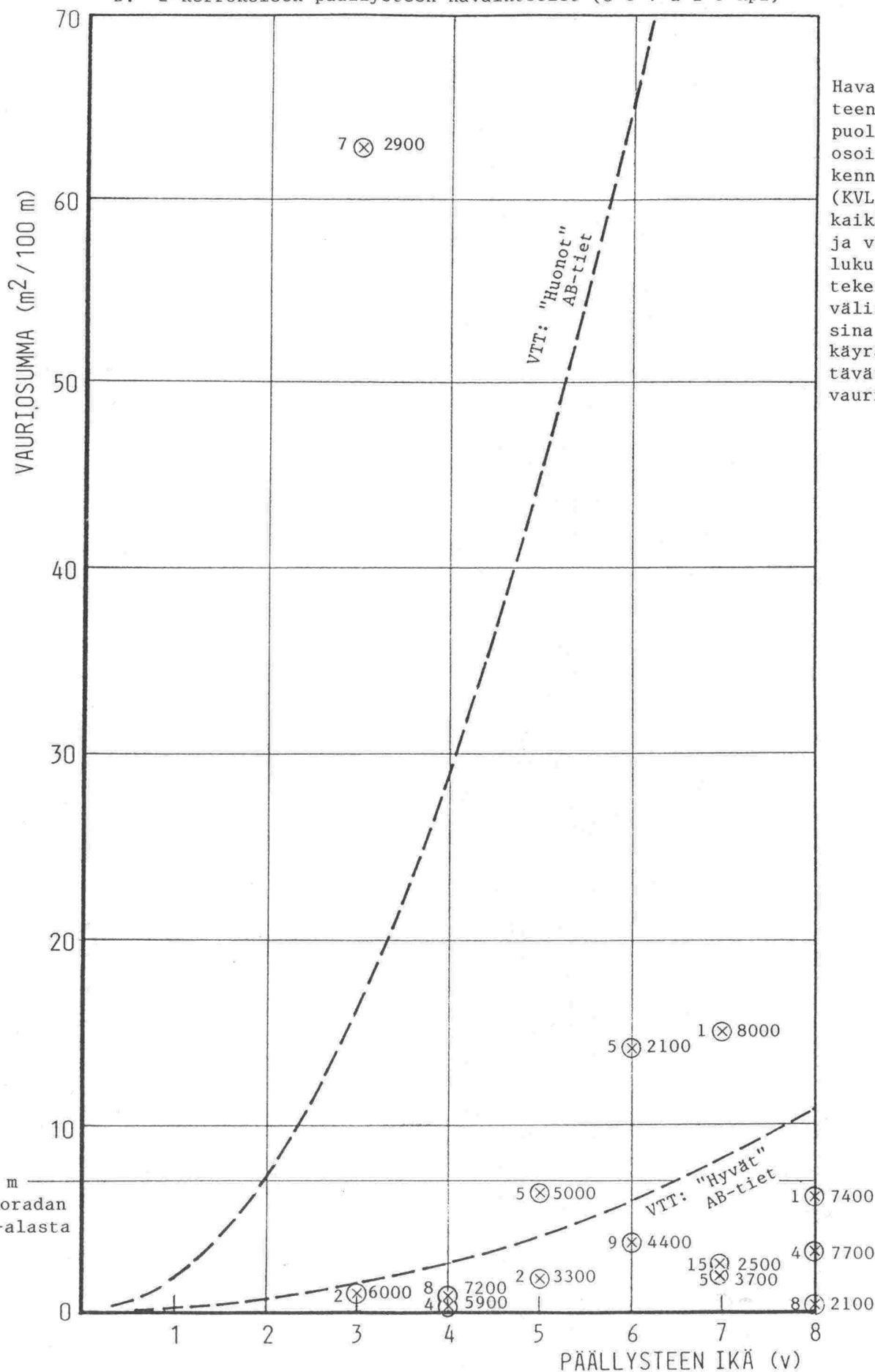
B. 2-kerroksisen päällysteen havaintotiet (3-8 v á 2-3 kpl)



A. 1-kerroksisen päällysteen havaintotiet (2-8 v ä 2-3 kpl)



B. 2-kerroksisen päällysteen havaintotiet (3-8 v á 2-3 kpl)



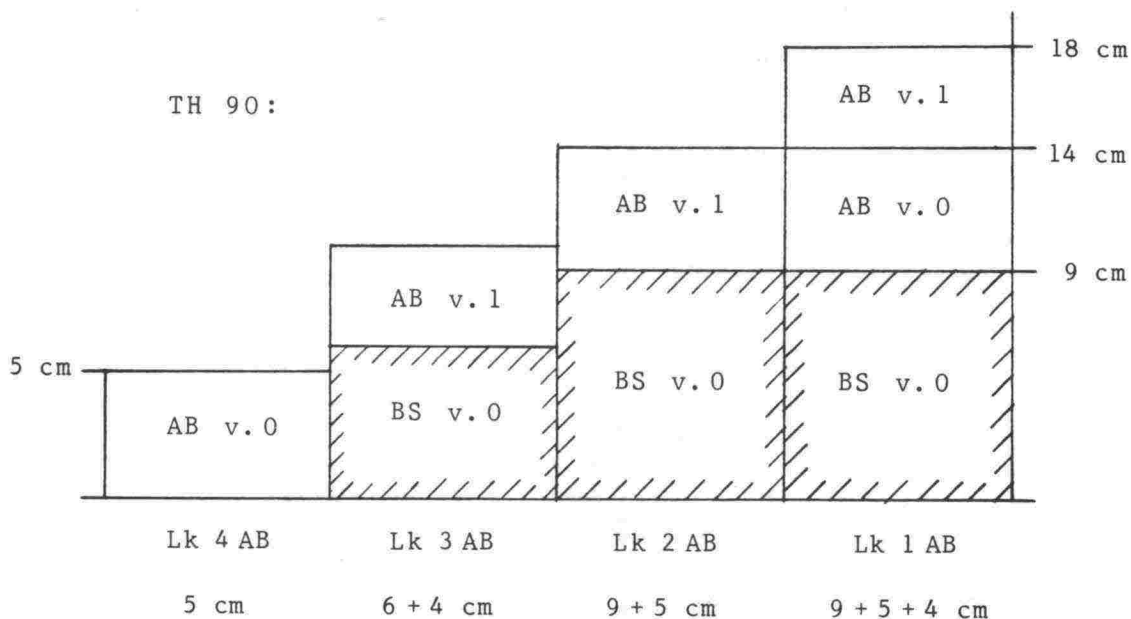
Havaintopiste-
teen oikean-
puol. luku
osoittaa lii-
kennemäärää
(KVL 1988,
kaikki autot)
ja vas. puol.
luku päällys-
tekerrosten
väliajan vuo-
sina. - VTT:n
käyrät sisäl-
tävät kaikki
vauriot.

KUSTANNUSSUHTEET VAIHERAKENTAMISEN ERI AJOITUSVAIHTO- EHTOJEN VÄLILLÄ

1 VERTAILTAVAT VAIHTOEHDOT

Varsinaisessa muistiossa 28.2.1990 tehtiin ehdotus päällystekerrosten nykyisten ajoitusohjeiden (Raksu 1985) muuttamisesta jonkin verran nopeammiksi, luopumatta kuitenkaan vaiheittain rakentamisen periaatteesta. Tästä ehdotuksesta käytetään seuraavassa tunnusta EL 90. Sen nettokustannuksiksi on arvioitu koko tielaitoksessa n. 5-10 milj. mk/v (muistion s. 59), verrattuna Raksu 1985:een. Hyötynä on vaurioriskien pienentyminen ja vaiherakennettujen teiden ajettavuuden osittainen parantuminen.

Jatkokeskusteluissa on apulaisjohtaja Tauno Hailikari ehdottanut vielä huomattavasti nopeampaa ajoitusta, joka lyhentäisi vaiherakentamisen vain yhden talvikauden yli ulottuvaksi. Ehdotettu ajoituskaavio on alla. Siitä käytetään tunnusta TH 90.



Seuraavilla sivuilla tarkastellaan suppeasti liikennekustannusten suhteita mainittujen kolmen ajoitusmallin Raksu 1985, EL 90 ja TH 90 välillä.

2 LASKELMIEN KULKU

Otetaan kustakin rakenneluokasta 1 AB - 4 AB tavallisin tietyyppi ja määritellään sen päällystekerrosten paksuus ja rakentamisvuosi eri ajoitusmallien mukaan. Kestoiät ja mahdolliset välitoimenpiteet (urapaikkaus, MPK, pelkkä tasausjyrsintä) sekä alkuvuosien tasausmassamenekki arvioidaan mahdollisimman tasapuolisesti. Toimenpiteille määritellään keskenään vertailukelpoiset hinnat v:n 1989 hintatasossa. Nykyarvon laskenta (diskonttaukset vuoteen 0) tapahtuu 6 %:n korolla, kuten varsinaisessa muistiossakin.

Tarkasteluaika ulotetaan 20-25 vuoteen, eri vaihtoehdoilla luonnollisesti kullakin yhtä pitkälle. Vertailun vuoksi tarkastellaan myös 50 vuoden ajanjaksoa. Tulokseksi saadaan päällystekustannusten summa koko aikana mk/km. Jos vertailun pohjana olevan Raksu 1985:n kustannuksia merkitään 100:lla, ehdotus EL 90 on yli 100 ja nopein ajoitusmalli TH 90 tätäkin jonkin verran suurempi. Huomioon otetaan toisaalta myös suuremman alkusijoituksen tuomat myöhemmät säästöt, jos niihin on ilmeisiä perusteita.

Kun eri rakenneluokille 1 AB - 4 AB on laskettu suhteelliset kustannukset eri ajoitusmallien mukaan, päästään myös ehdotuksen TH 90 osalta vuosikustannuksiin mk/v nojautumalla varsinaisessa muistiossa (s. 57) esitettyihin arvioihin uusien teiden vuotuisesta rakentamispiteudesta.

3 VERTAILUKUSTANNUKSET ERI RAKENNELUOKISSA

Rakenneluokka 1 AB

Lähtötilanne: - Tieosuuden pituus 10 km, päällysteen leveys 2 x 11 m (moottoritie)
 - $KVL_{rask} = 2000$ (= 20 vuoden keskiarvo)
 - Mitoitus-KKL = $0,4 \cdot 2,2 \cdot 10^7 = 9 \cdot 10^6$

Mitoitusrakenteet: Eri vaihtoehtojen mukaiset (Raksu 1985: vars. muistion liite 1; EL 90: s. 55; TH 90: tämän jatkumuistion s. 1)

Yksikkökustannukset:	- 6 cm BS	460 000 mk/km	
	- 7 cm BS	510 000	"
	- 9 cm BS: 1 kerroksena	600 000	"
	tai 2 kerroksena	670 000	" (5 + 4 cm)

- 4 cm AB, ei tasausta	345 000	mk/km
- 5 cm AB, ei tasausta	390 000	"
- TAS/15 + 4 cm AB	390 000	"
- TAS/30 + 4 cm AB	440 000	"
- JYR + 4 cm AB	440 000	"
- MPK (vain ajoradat)	180 000	"

Kestoiät (uusimis-

kriteerinä urasyvyys): - AB-laatta: 3 tai 4 vuotta, yl. vuorotellen
 - MPK: 2 vuotta

Toimenpiteiden aikakustannukset

(laskentaperusteet vars. muistion s. 34): - TAS/15 + AB: 57 000 mk/km
 - JYR/2 tai TAS/30 + AB: 63 000 "
 - välitoimenpiteenä MPK: 18 000 "

Ve. 1, Raksu 1985 (1 AB):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset (pääll. + aikakust.), mk/km</u>
0	6 cm BS	460 000 + 0 ---> 460 000 + 0
0	4 cm AB	345 000 + 0 ---> 345 000 + 0
4	TAS/30 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 348 500 + 49 900
7	välitoimenp. MPK	180 000 + 18 000 ---> 119 700 + 12 000
9	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 260 400 + 37 300
13	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 206 300 + 29 500
16	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 173 200 + 24 800
20	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 137 200 + 19 600

Yhteensä 2 050 300 + 173 100 mk/km

= **2,223 milj. mk/km**

Ve. 2, EL 90 (1 AB):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset (pääll. + aikakust.), mk/km</u>
0	7 cm BS	510 000 + 0 ---> 510 000 + 0
0	4 cm AB	345 000 + 0 ---> 345 000 + 0
2	TAS/30 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 391 600 + 56 100
6	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 310 200 + 44 400
9	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 260 400 + 37 300
13	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 206 300 + 29 500
16	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000 ---> 173 200 + 24 800
20	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 19 600 ---> 137 200 + 19 600

Yhteensä 2 333 900 + 211 700 mk/km

= **2,546 milj. mk/km**

Ve. 3, TH 90 (1 AB):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset (pääll. + aikakust.), mk/km</u>	
0	9 cm BS (tai 4+5 cm BS)	600 000 + 0 (670 000 + 0)	---> 600 000 + 0 (---> 670 000 + 0)
0	5 cm AB	390 000 + 0	---> 390 000 + 0
1	TAS/15 + 4 cm AB	390 000 + 57 000	---> 367 900 + 53 800
5	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000	---> 328 800 + 47 100
9	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000	---> 260 400 + 37 300
13	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000	---> 206 300 + 29 500
16	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000	---> 173 200 + 24 800
20	JYR/2 + 4 cm AB	440 000 + 63 000	---> 137 200 + 19 600
		Yhteensä 2 463 800 + 212 100 (tai 2 533 800 + 212 100)	
		= 2,676 milj. mk/km (tai 2,746 milj. mk/km)	

Ve. 3:n osalta on siis tehty se lisäotaksuma, että suuren alkusijoituksen ansiosta voidaan uudelleenpäällistyksissä noudattaa 4 vuoden väliaikaa 3 kertaa peräkkäin, kun kestoikä muissa vaihtoehtoisissa vuorottelee 3:n ja 4:n vuoden välillä. Myöhemmin ei tätä eroa Ve. 3:n hyväksi otaksuta enää olevan.

Tarkasteluaika on kaikissa vaihtoehtoisissa yhtä pitkä (20 v), joten tasauslaskelmia ei tarvita. Niiden sijasta voidaan tutkia, mitä vaikuttaa asiaan se, jos tarkasteluaikaa pidennetään 50 vuoteen. Osoittautuu, että pitempi aika hiukan lähentää vaihtoehtoja toisiinsa. - Lopputulokseksi saadaan seuraavat suhteelliset päällystekustannukset:

Luokan 1 AB ajoitus- vaihtoehto	20 vuoden tar- kasteluaika	50 vuoden tar- kasteluaika
Ve. 1: Raksu 1985	100	100
Ve. 2: EL 90	114	111
Ve. 3: TH 90	120 tai 124 (riippuen 9 cm:n BS:n rak. tavasta)	116 tai 119

Päällysteen kokonaispaksuus 20 vuoden jälkeen on yllä luetelluin toimenpitein eri vaihtoehtoisissa seuraava: Raksu 23 cm, EL 25 cm, TH 28 cm. Näillä eroilla ei voida arvioida olevan käytännön merkitystä, koska kaikkien vaihtoehtojen kantavuus ylittää runsaasti tien tavoitekantavuuden ja myös kulumisnopeus on - alkuvuosien jälkeen - kokonaispaksuudesta riippumaton. Muitakaan liikennekustannusten eroja, jotka aiheutuisivat alkuvuosien ajoituseroista, ei eri vaihtoehtojen välillä voida osoittaa.

Rakenneluokka 2 AB

- Lähtötilanne:**
- Tieosuuden pituus 10 km, päällysteen leveys 9,5 m
 - $KVL_{rask} = 800$
 - Mitoitus-KKL = $0,5 \cdot 8 \cdot 10^6 = 4 \cdot 10^6$

Mitoitusrakenteet: Vaihtoehtojen Raksu 1985 - EL 90 - TH 90 mukaiset

Yksikkökustannukset:	- 6 cm BS	200 000 mk/km	
	- 7 cm BS	220 000 "	
	- 9 cm BS: 1 kerroksena	260 000 "	
	tai 2 kerroksena	290 000 "	(5 + 4 cm)
	- TAS/15 + 4 cm AB	170 000 "	
	- TAS/30 + 4 cm AB	190 000 "	
	- TAS/15 + 5 cm AB	190 000 "	
	- JYR/2 + 4 cm AB	190 000 "	
	- Urapaikkaus	40 000 "	

- Kestoiät** (uusimiskriteerinä urasyvyys):
- BS: ≥ 1 vuosi (1 v jälk. TAS/15 + AB)
 - AB-laatta: 5 vuotta
 - Urapaikkaus: 1 vuosi

Toimenpiteiden aikakustannukset:

- TAS tai JYR + AB-laatta: 25 000 mk/km
- Urapaikkaus: 5 000 "

Ve. 1, Raksu 1985 (2 AB):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset (pääll. + aikak.), mk/km</u>
0	6 cm BS	200 000 + 0 ----> 200 000 + 0
1	TAS/15 + 4 cm AB	170 000 + 25 000 ----> 160 400 + 23 600
6	Urapaikkaus	40 000 + 5 000 ----> 28 200 + 3 500
7	TAS/30 + 4 cm AB	190 000 + 25 000 ----> 126 400 + 16 600
12	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000 ----> 94 400 + 12 400
17	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000 ----> 70 600 + 9 300

(22)	(JYR/2 + 4 cm AB)	(190 000 + 25 000)

Yhtenlasketut kustannukset esitetään seuraavalla sivulla.

Ve. 2, EL 90 (2 AB):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset (pääll. + aikak.), mk/km</u>
0	7 cm BS	220 000 + 0 ----> 200 000 + 0
1	TAS/15 + 4 cm AB	170 000 + 25 000 ----> 160 400 + 23 600
5	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000 ----> 142 000 + 18 700
10	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000 ----> 106 100 + 14 000
15	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000 ----> 79 300 + 10 400
20	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000 ----> 59 200 + 7 800

(25)	(JYR/2 + 4 cm AB)	(190 000 + 25 000)

Ve. 3, TH 90 (2 AB):

<u>Vuosi</u>	<u>Toimenpide</u>	<u>Kustannukset (pääll. + aikak.), mk/km</u>	
0	9 cm BS	260 000 + 0	---> 260 000 + 0
		(290 000 + 0)	(---> 290 000 + 0)
1	TAS/15 + 5 cm AB	190 000 + 25 000	---> 179 200 + 23 600
6	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000	---> 133 900 + 17 600
11	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000	---> 100 100 + 13 200
16	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000	---> 74 800 + 9 800
21	JYR/2 + 4 cm AB	190 000 + 25 000	---> 55 900 + 7 400

Tarkasteluaajat yhtenäistetään pisimmän ajan (Ve. 3; 21 vuotta) mukaisiksi siten, että Ve. 1:een lisätään 4/5 seuraavan toimenpiteen kustannuksista, diskonttaamalla ne ensin v:sta 22 v:een 21. Tämän 4/5:n arvo v. 0 on = 42 200 + 5 600 mk/km. Vastaavasti on Ve. 2:een lisättävä v:n 25 kustannuksista 1/5, minkä nykyarvo on = 8 900 + 1 200 mk/km.

Kun tarkasteluaika pidennetään 50 (laskelmissa 51) vuoteen, vaihtoehdot taas hiukan lähentyvät. Lopputulokseksi saadaan seuraavat päällyste- ja suhteelliset kustannukset:

Luokan 2 AB ajoi- tusvaihtoehto	20 v:n tarkasteluaika		50 v:n tarkasteluaika	
	<u>Pääll. kust.</u>	<u>Suht. kust.</u>	<u>Pääll. kust.</u>	<u>Suht. kust.</u>
Ve. 1: Raksu 1985	793 200	100	948 600	100
Ve. 2: EL 90	851 600	107	1 007 000	106
Ve. 3: TH 90	875 500	110	1 029 900	109
	(tai 905 500)	114)	(tai 1 059 900)	112)

Päällysteen kokonaispaksuudet 21 vuoden jälkeen:

- Raksu 1985: 18 cm
- EL 90: 19 cm
- TH 90: 22 cm

Vaihtoehdossa 2 (EL 90) on III toimenpiteen alustan käsittely valinnainen: joko JYR/2 kuten yllä tai TAS/30. Jos valitaan TAS/30, teoreettinen kokonaispaksuus 21 v:n jälkeen kasvaa 21 cm:iin.

Rakenneluokka 3 AB

Lähtötilanne (tien leveys 8 m, päällysteen leveys 7,5 m), yksikköhinnat, kerrospaksuudet ja niiden ajoitus ovat tämän luokan teille tyypilliset ja vertailtavien vaihtoehtojen mukaiset. Aikakustannuksia ei ole enää otettu huomioon, koska niiden erot ovat pienet.

Laskelmien päätulokset ovat seuraavat:

Luokan 3 AB ajoitusvaihtoehto	20 (26) v:n tark. aika	50 v:n tark. aika
Ve. 1: Raksu 1985	Suht. kust. = 100	100
Ve. 2: EL 90	107	106
Ve. 3: TH 90	116	113

Päällysteen kokonaispaksuudet 26 vuoden jälkeen:

- Raksu 1985: 15 cm
- EL 90: 16 cm
- TH 90: 16 cm

Rakenneluokka 4 AB

Lähtötilanne (tien leveys 8 m, päällysteen leveys 7 m) ym. seikat ovat taas tämän luokan teille tyypilliset ja vertailtavien vaihtoehtojen mukaiset. Aikakustannuksia ei ole enää otettu huomioon.

Vaihtoehto 3 (TH 90, tämän muistion s. 1) on yhtäläinen Raksu 1985:n kanssa, joten niiden kustannuksetkin ovat samat.

Laskelmien päätulokset ovat seuraavat:

Luokan 4 AB ajoitusvaihtoehto	20 (23) v:n tark. aika	50 v:n tark. aika
Ve. 1: Raksu 1985	Suht. kust. = 100	100
Ve. 2: EL 90	102	102
Ve. 3: TH 90	100	100

Päällysteen kokonaispaksuudet 23 vuoden jälkeen:

- Raksu 1985: 14 cm
- EL 90: 13 cm (tämä paksuus jo v. 21)
- TH 90: 14 cm

4 VUOSIKUSTANNUKSET KOKO TIEVERKOLLA

Varsinaisen muistion s. 56-59 on tarkasteltu vaihtoehdon EL 90 lisäkustannuksia verrattuna Raksu 1985:een. Seuraavassa esitetään vastaavat kustannukset vaihtoehdon TH 90 osalta. Yhdenmukaisuuden vuoksi laskelmissa sovelletaan vain 20-26 vuoden tarkasteluaikaa. BS-kerroksen rakentamistavasta aiheutuvat kustannusvaihtoehdot ovat edelleen mukana.

Tulokseksi saadaan seuraavat lisäkustannukset ehdotukselle TH 90. EL 90:n vastaavat tulokset ovat vars. muistion sivulla 58.

<u>Rakenne-</u> <u>luokka</u>	<u>Tietyyppi</u>	<u>Ehdotus TH 90 kalliimpi</u> <u>kuin Raksu 1985, mk/km</u>
1 AB	moottoritie, KVL > 15 000	117 000 tai 141 000
1 AB	" KVL < 15 000	104 000 tai 125 000
1 AB	2-kaist. tie 4-kaistaiseksi	104 000 tai 125 000
1 AB	moottoriliikennetie	63 000 tai 75 000
2 AB	moottoritie, KVL < 10 000	79 000 tai 110 000
2 AB	2-kaist. tie 4-kaistaiseksi	79 000 tai 110 000
2 AB	moottoriliikennetie	47 000 tai 66 000
2 AB	muu 2-kaistainen tie	30 000 tai 42 000
3 AB	KVL > 2500 (nopea ajoitus)	69 000
3 AB	KVL < 2500 (hidas ajoitus)	34 000
4 AB	kaikki tiet	-

Kunkin tieryhmän arvioitu vuotuispituus km/v on vars. muistion lukujen (s. 57) mukainen.

Ehdotuksen TH 90 vuotuiset bruttokustannukset ovat seuraavat:

Rakenneluokka 1 AB:

- moottoritie, KVL > 15 000 (20 km/v):	2 340 000 tai 2 820 000 mk/v
- " KVL < 15 000 (10 km/v):	1 040 000 tai 1 250 000
- 2-kaist. tie 4-kaistais. (10 km/v):	1 040 000 tai 1 250 000
- moottoriliikennetie (10 km/v):	630 000 tai 750 000

Rakenneluokka 2 AB:

- moottoritie (10 km/v):	790 000 tai 1 100 000
- 2-kaist. tie 4-kaistais. (5 km/v):	395 000 tai 550 000
- moottoriliikennetie (10 km/v):	470 000 tai 660 000
- muu 2-kaistainen tie (35 km/v):	1 050 000 tai 1 470 000

Rakenneluokka 3 AB:

- KVL > 2500 (70 km/v):	4 830 000
- KVL < 2500 (80 km/v):	2 720 000

Rakenneluokka 4 AB:

(170 km/v): -

Yhteensä: 15 305 000 tai 17 400 000 mk/v

Kustannusten säästöt (TH 90 - Raksu 1985):

a) Ennenaikaisten vaurioiden välttäminen: koska pääosa vaurioista syntyy rakenneluokassa 4 AB, joka ei muutu Raksu 1985:een verraten, päästäneen nyt enintään puoleen ehdotuksen EL 90 säästöistä, jotka olivat 1,2 milj. mk/v. TH 90:n säästö olisi tältä osin siten likimäärin 0,6 milj. mk/v.

b) Ennenaikaisen päällystämisen välttäminen: TH 90:n mukaisella ajoituksella ei kyetä välttämään alkuvuosien kantavuustilanteen, vauriokehityksen tai kulumisnopeuden kannalta aivan ilmeistäkään ennenaikaisuutta muissa rakenneluokissa kuin 4 AB, joka puolestaan on Raksu 1985:n mukainen. Jos kuitenkin uusissa ohjeissa erityisesti korostetaan optimaalisen päällystämivuoden merkitystä luokassa 4 AB, on mahdollista, että jonkin verran säästöä kertyisi nykytilanteeseen verraten. Arvioidaan sen suuruudeksi enintään 1,0 milj. mk/v (= 1/3 ehdotuksen EL 90 vastaavasta säästöstä).

Koko ehdotuksen TH 90 likimääräiset nettokustannukset ovat siten:

$$15,3 - 0,6 - 1,0 = n. \underline{13,7 \text{ milj. mk/v}}$$

$$\text{tai } 17,4 - 0,6 - 1,0 = n. \underline{15,8 \text{ milj. mk/v}}$$

Vaihteluväli on pyöristäen n. 10 - 20 milj. mk/v eli kaksinkertainen ehdotukseen EL 90 verrattuna (= 5 - 10 milj. mk/v).

Olisiko ehdotus TH 90 kannattava toteuttaa? - Ajoitusehdotusta TH 90 on havainnollista vertailla ehdotukseen EL 90, joka on varsinaisessa muistiossa (s. 59) arvioitu kannattavaksi, mutta ei kovin suurella marginaalilla.

TH 90 nopeuttaa muiden rakenneluokkien päällystämistä paitsi luokan 4 AB, joka havaintojen mukaan on alttein ennenaikaiseen vaurioitumiseen. Siten TH 90:n tuoma lisävarmuus vaurioita vastaan on EL 90:een verraten huomattavasti pienempi kuin EL 90:n tuoma lisävarmuus Raksu 1985:een verraten.

Päällysteen ajettavuus ei parane TH 90:n ansiosta, koska nopean alkuvaiheen jälkeen käyttöikä joudutaan jopa venyttämään, jotta suuresta alkusijoituksesta saataisiin hyötyä.

Kaikkiaan näyttää siltä, että TH 90:n tuomat hyödyt eivät juuri

ylitä EL 90:n hyötyjä. Kun kustannukset kuitenkin ovat kaksinkertaiset, TH 90 ei ole yhtä kannattava kuin lähemmäksi päällystämisen ajoituksen optimia pyrkivä "keskinopea" vaihtoehto EL 90.

5 MILLÄ KESTOIKÄOTAKSUMILLA EHDOTUKSET TH 90 JA EL 90 OLISIVAT SAMANHINTAISET

Ehdotus TH 90 vastaisi kustannuksiltaan ehdotusta EL 90, jos suurempien alkusijoitusten vastapainona voitaisiin myöhempiä kunnossapidon päällystysväliaikoja pidentää. Seuraavassa tarkastellaan, kuinka pitkiä näiden kestoikien pitäisi olla ja kuinka todennäköisesti niitä voitaisiin noudattaa. - Tulokset on saatu kokeilemalla eripituisia väliaikoja. Laskelmien yksityiskohdat sivuutetaan tässä.

1 AB TH 90:n halvempi vaihtoehto (BS 1 kerroksena) olisi samanhintainen EL 90:n kanssa, jos varsinaisen rakentamisen jälkeinen uudelleenpäällystysväli olisi jatkuvasti 4 vuotta n. 35 v:n ajan, kun se EL 90:ssä vuorottelee 3:n ja 4 vuoden välillä.

TH 90:n kalliimpi vaihtoehto (BS 2 kerroksena) olisi samanhintainen EL 90:n kanssa, jos uudelleenpäällystysväli olisi joka kerta 1 vuoden pitempi n. 25 v:n ajan eli vuorottelisi 4:n ja 5:n vuoden välillä.

2 AB TH 90:n halvempi vaihtoehto olisi tasoissa EL 90:n kanssa, jos 5 vuoden uudelleenpäällystysväli pidentyisi joka toisella kerralla 6 vuoteen n. 25 v:n ajan.

TH 90:n kalliimpi vaihtoehto pääsisi tasoihin vasta kun 5 vuoden uudelleenpäällystysväli pidentyisi jokaisella kerralla 6 vuoteen n. 20 v:n ajan.

3 AB TH 90 olisi vielä hiukan kalliimpi, jos 10 vuoden uudelleenpäällystys- tai muu kunnostusväli pidentyisi jokaisella kerralla 12 vuoteen 50 v:n ajan.

4 AB Ei samalla tavoin vertailtavissa, koska TH 90 on vars. rakentamisen osalta 1-kerroksinen. TH 90 on hiukan halvempi vaihtoehto, jos sen II päällystekerros tehdään vasta tietyn vaurioasteen ja urasyvyyden mukaan. (EL 90:ssä II päällystekerros on ajoitettu vuosille 6 - 10, tällöinkin tarkemmin vauriokehityksestä riippuen.)

Todennäköisyys: Ajoitusmallin TH 90 kannattavuus edellyttää, että uudelleenpäällystysten tai muun kunnostuksen väliaika pidentyy rakenneluokasta riippuen joka toinen tai joka kerta 1 vuodella tai

joka kerta 2 vuodella n. 20 - 50 v:n ajan. Sen jälkeen ajoitukset olisivat samat molemmissa vaihtoehtoissa. - Kunnostusajankohdan määrää lähinnä urien syvyys. Siihen ei kuitenkaan vaikuta alkuvuosien ajoitusero eikä kokonaispaksuuden pienet erot, kun kantavuus on myös vaihtoehdossa EL 90 riittävä ja tasausmassaa käytetään molemmissa vaihtoehtoissa yhtä vähän.

Sanotun perusteella ei ole todennäköistä, että vaihtoehdon TH 90 suuremmat alkusijoitukset korvautuisivat myöhempien vuosien pitemmillä kunnostusväleillä, jos tien laatutaso (kulumis- ja vaurio-kriteerit) pidetään molemmissa vaihtoehtoissa samoina.

EL/10.5.1990

Insinööritoimisto Eero Lehtipuu on selvittänyt (tutkittu otos, laskelmat ja kirjallisuusselvitys) tiehallituksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta v. 1985 suunnitteluohjeiden muuttamistarpeen tien päällystekerrosten rakentamisen ajoittamisen osalta.

Tärkeimmät tulokset ovat:

1. Ohjeen mukaisesti ajoitetuissa kohteissa ei ole havaittu ennenaikaista halkeilua.
Vaurioitumisnopeuden hajonta puoltaa kuitenkin lievää vaiheittainrakentamisen nopeuttamista varsinkin, jos epäillään materiaali- tai mitoitusvirhettä.
2. Päällysrakenneluokkaan 4 AB tarvitaan yksi päällystekerros lisää. Yksinäinen AB-kerros ei kestä pitkään.
3. Vaiheittainrakentamisen nopeuttaminen luokissa 1-3 AB nykyisestä noin 10 vuodesta 2 vuoteen lisääisi kulumisurien korjaus- ja korkokustannuksia noin 100 000 mk/km ja vaikeuttaisi jälkitiivistymien tasoittamista.
Tien käyttäjän kannalta laatutaso ei paranisi. Laskelmissa on otettu huomioon päällystämisen aiheuttama haitta liikenteelle.